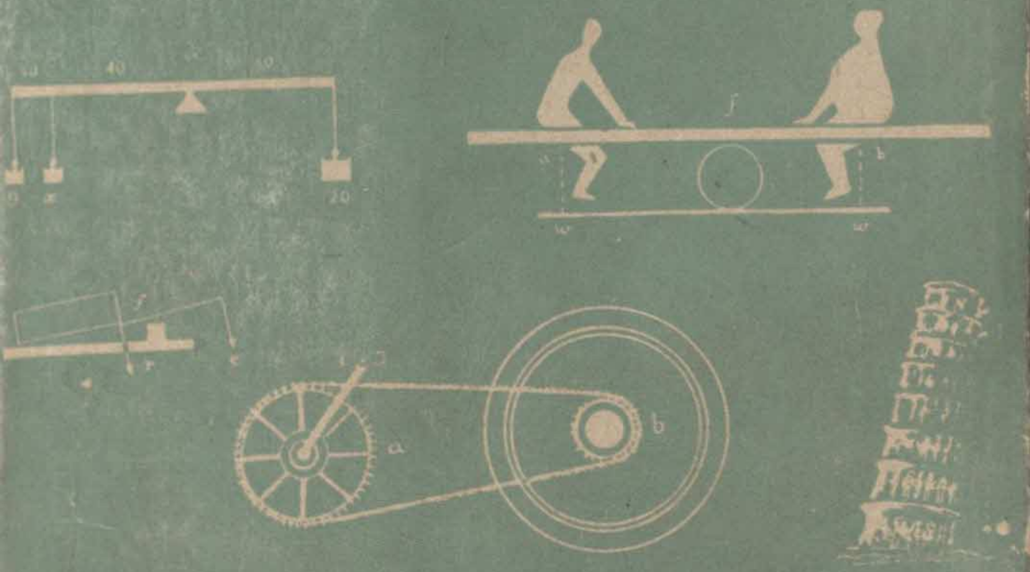


পদার্থবিদ্যা







দে ও সরকার



Written according to the new Syllabus of West Bengal Council of Higher Secondary Education for Classes XI & XII (General Stream Course)

পদার্থ-বিদ্যা

[একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণীর পাঠ্য]

ডক্টর মধুসূদন দে,

প্রাক্তন অধ্যাপক, কণ্টাই পি. কে. কলেজ, মেদিনীপুর; জি. ও. লরেন্স স্কলার, এডিলেড ইউনিভারসিটি, অস্ট্রেলিয়া; গবেষক, ইণ্ডিয়ান অ্যাসোসিয়েশন ফর দি কাল্টিভেশন অব সায়েন্স, কলিকাতা-32; প্রাকৃতিক বিজ্ঞান, জীবন বিজ্ঞান, প্রভৃতি গ্রন্থ-প্রণেতা

ও

অধ্যাপক কৃষ্ণপদ সরকার,

পদার্থ-বিদ্যা বিভাগ, গুরুদাস কলেজ (গভঃ-স্পনসর্ড), কলিকাতা-54
বিজ্ঞান-প্রবেশ, ভৌত-বিজ্ঞান (১ম ও ২য়) প্রভৃতি গ্রন্থ-প্রণেতা

ভা র তী বু ক স্ট ল

প্রকাশক ও পুস্তক-বিক্রেতা

6, রমানাথ মজুমদার স্ট্রীট,

কলিকাতা-9

প্রকাশক :
শ্রীহৃষীকেশ বারিক
ভারতী বুক স্টল
6, রমানাথ মজুমদার স্ট্রীট
কলিকাতা-9

প্রথম প্রকাশ : সেপ্টেম্বর 1976

মূল্য : বাইশ টাকা মাত্র

মুদ্রাকর :
শ্রীসুরেন্দ্রনাথ দাস
বাণীরূপা প্রেস
9এ, মনোমোহন বসু স্ট্রীট
কলিকাতা-6

প্রাক-কথন

বঙ্কিমচন্দ্র লিখেছেন : "দেশটাকে যদি বৈজ্ঞানিক করিতে হয় তাহা হইলে বাঙ্গালা ভাষায় বিজ্ঞান শিখিতে হইবে।" বৈজ্ঞানিকেরা যাহা অর্জন এবং আহরণ করেন, তাহা মাতৃভাষায় প্রকাশ করলেই জনসাধারণ ফলভোগ করতে পারেন। পশ্চিমবঙ্গ উচ্চতর মাধ্যমিক শিক্ষাপর্ষদ বাংলাভাষায় স্কুলপাঠ্য বিজ্ঞানের বিভিন্ন বিষয়ে উপযুক্ত বই রচনার প্রবর্তন করে দেশের প্রভূত উপকার সাধন করেছেন।

এই শিক্ষা পর্ষদের পাঠক্রম অনুযায়ী "পদার্থ-বিদ্যা"-র বই সঙ্কলন করেছেন আমার স্নেহাস্পদ ডঃ মধুসূদন দে ও অধ্যাপক কৃষ্ণপদ সরকার। পদার্থের বুক থেকে বিজ্ঞানের রস টেনে নিয়ে তার মূলনীতি ও অভিব্যক্তি তাঁরা সুন্দর ভাবে ফুটিয়ে তুলেছেন। গাছের শিকড় মাটির বুকে অনেকখানি ছড়িয়ে থাকতে পারলে তবে তার ফুলের প্রাচুর্য সম্ভব হয়। এই বইয়ে বহু উদাহরণ এবং প্রশ্নোত্তরের মাধ্যমে বিষয়বস্তুকে সহজ এবং সুসম্বদ্ধ করা হয়েছে। বইটির মধ্যে আমি বহু বৈশিষ্ট্যও লক্ষ্য করেছি। আমি এর সার্থকতা কামনা করি।

যাদবপুর
২২.৯.৭৬

শ্যামাদাস চট্টোপাধ্যায়
প্রাক্তন বিভাগীয় প্রধান, পদার্থ-বিদ্যা বিভাগ
যাদবপুর বিশ্ববিদ্যালয়।

ভূমিকা

পশ্চিমবঙ্গ উচ্চতর মাধ্যমিক শিক্ষা সংসদের নূতন পাঠক্রম (10+2) অনুযায়ী **"পদার্থ-বিদ্যা"** পুস্তকটি রচিত। এই গ্রন্থ রচনাকালে প্রধানতঃ দুইটি বিষয়ের প্রতি বিশেষ লক্ষ্য রাখা হইয়াছে। প্রথমতঃ, নূতন পাঠক্রমের মূলনীতি, দৃষ্টিভঙ্গী ও অভিনবত্ব এই গ্রন্থে যথাযথভাবে প্রতিফলিত করিতে আন্তরিক চেষ্টা করা হইয়াছে। বর্তমান পাঠক্রমের বহুমুখী দৃষ্টিভঙ্গী ও ব্যাপকতা অনুধাবন করিতে যথেষ্ট অভিজ্ঞতা ও বিষয়বস্তু সম্বন্ধে স্বচ্ছ জ্ঞান একান্ত প্রয়োজন। দীর্ঘকাল শিক্ষকতার অভিজ্ঞতা, মাধ্যমিক শ্রেণীর পাঠ্যপুস্তক প্রণয়ণের অভিজ্ঞতার মাধ্যমে ও উচ্চতর গবেষণায় ব্যাপৃত থাকিয়া ইহা অনুভব করিয়াছি যে, গতানুগতিক ধারায় বিজ্ঞানের পঠন-পাঠনের পরিবর্তন করিয়া বিজ্ঞানপাঠ বাস্তবমুখী করা একান্ত প্রয়োজন। এই পুস্তক রচনাকালে মাধ্যমিক শ্রেণীর পাঠক্রমের সহিত বর্তমান পাঠক্রমের ধারাবাহিকতা বজায় রাখা হইয়াছে। বহু ক্ষেত্রেই অধীত পাঠের পুনরালোচনা করা হইয়াছে। এক কথায়, পাঠ্যপুস্তক রচনার প্রচলিত আঙ্গিকের পরিবর্তন ঘটাইয়া, নূতন শিক্ষাপদ্ধতির সার্থক রূপায়ণের সকল প্রকার চেষ্টা করা হইয়াছে।

দ্বিতীয়তঃ, এই পুস্তক যাহাদের জন্য লেখা, রচনাকালে সেই সুকুমারমতি ছাত্রছাত্রীদের মানসিকতা সম্বন্ধে সচেতন থাকিয়া, সর্বত্রই বিষয়বস্তুর গুরুত্বের সহিত সামঞ্জস্য রাখিয়া সহজ, সরল ও শুদ্ধ ভাষা ব্যবহার করিয়া বাস্তবধর্মী উদাহরণের মাধ্যমে বিষয়বস্তু সহজবোধ্য করা হইয়াছে। বলা বাহুল্য, বাস্তবধর্মিতা এই নয়া পাঠক্রমের আর এক অভিনবত্ব। উদাহরণ ও যথাযথ চিত্রায়ণের মাধ্যমে বিষয়বস্তুর সম্যক্ উপলব্ধি ও অনুধাবন যাহাতে সহজতর হয়, তজ্জন্য পুস্তকটির কলেবর সামান্য বৃদ্ধি পাইলেও, প্রত্যেক অধ্যায়ে বহুমুখী উদাহরণ এবং পরিশিষ্টে সমগ্র পাঠক্রম হইতে বিভিন্ন ধরণের একশত সাংখ্য প্রশ্ন সন্নিবেশিত করা হইয়াছে। ইঞ্জিনিয়ারিং, ডাক্তারি প্রভৃতি শাখায় বৃত্তিমূলক ও প্রতিযোগিতামূলক প্রবেশ-পরীক্ষা গৃহীত হয়। অধিকাংশ ক্ষেত্রেই প্রশ্নপত্র ইংরেজী ভাষায় থাকায়, পরিশিষ্টে নির্বাচিত প্রশ্নগুলির ভাষান্তর করা হয় নাই। আশা করি ছাত্রছাত্রীরা ইহাতে যথেষ্ট উপকৃত হইবে।

এই পুস্তক প্রণয়ণে প্রত্যক্ষ ও পরোক্ষভাবে যাঁহাদের কাছে সাহায্য পাইয়াছি, তাঁহাদের কাছে আমরা কৃতজ্ঞ। পাণ্ডুলিপি রচনায় শ্রীমিনতি

শ্রীসুস্মিতা সরকার, শ্রীব্রততী গুপ্ত যথেষ্ট সাহায্য করিয়াছেন। ডঃ রমেনকুমার পোদ্দার, অধ্যাপক, কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয় বিজ্ঞান কলেজ, অধ্যাপক সুহাস মৌলিক, অধ্যাপক সাধন সাহা (গুরুদাস কলেজ) নানা মূল্যবান উপদেশ ও উৎসাহ দিয়াছেন এবং পাণ্ডুলিপি সংশোধন করিয়া আমাদের কৃতজ্ঞতাপাশে আবদ্ধ করিয়াছেন। শ্রীনিশিকান্ত কর ও তাঁহার সহকর্মীদের অক্লান্ত পরিশ্রম ব্যতীত অতি অল্প সময়ে এই গ্রন্থের প্রকাশ সম্ভব ছিল না। তাঁহাদের অভিনন্দন জানাই।

ইহা ব্যতীত প্রচলিত বিভিন্ন পুস্তক হইতেও বহু সাহায্যও পাইয়াছি; এজন্য এইসব পুস্তকের গ্রন্থকারদের প্রতি আমাদের সশ্রদ্ধ কৃতজ্ঞতা জানাই।

পরিশেষে, প্রকাশক ও গ্রন্থকার যথেষ্ট সজাগ থাকা সত্ত্বেও মুদ্রণপ্রমাদ ঘটা অস্বাভাবিক নয়। অনবধানতাবশতঃ কোন ভুলত্রুটি থাকিলে সহকর্মী শিক্ষক-শিক্ষিকা ও শিক্ষার্থীগণ সে-বিষয়ে আমাদের দৃষ্টি আকর্ষণ করিলে, বিশেষ উপকৃত হইব এবং পরবর্তী সংস্করণে সেগুলি সংশোধন করিতে চেষ্টিত থাকিব। গ্রন্থটির সর্বাঙ্গীণ উন্নতিকল্পে যে কোন পরামর্শ ও মতামত কৃতজ্ঞতার সহিত সাদরে গৃহীত হইবে।

যাহাদের জন্য এই পুস্তক, ইহা তাহাদের উপকারে আসিলে এবং উচ্চতর পঠন-পাঠনে তাহাদের আগ্রহ সৃষ্টি করিতে পারিলে, আমরা শ্রম সার্থক মনে করিব।

কলিকাতা,
মহালয়া, ১৯৭৬

গ্রন্থকারদ্বয়

সূচীপত্র

আলোক-বিজ্ঞান

কম্পন ও তরঙ্গবিজ্ঞান

চুম্বক-বিজ্ঞান

বিষয় পৃষ্ঠা

আধুনিক পদার্থ-বিজ্ঞান

মাপের পদ্ধতি

(Methods of Measurements)

1.1. প্রাকৃতিক রাশি ও তাহাদের একক (Physical quantities and their units) :

যে-কোন বস্তুর দুইটি পৃথক্ বৈশিষ্ট্য বর্তমান। একটি গুণগত (qualitative) ও অপরটি পরিমাণগত (quantitative)। যাহা পরিমাপ করা যায় তাহাকে **রাশি** বলে। একটি ধাতবদণ্ডের দৈর্ঘ্য আমরা মাপিতে পারি। সুতরাং দৈর্ঘ্য একটি রাশি। অনুরূপভাবে, ধাতবদণ্ডটির ওজনও বাহির করিতে পারি। সুতরাং ওজনও একটি রাশি। এইক্ষেত্রে, দৈর্ঘ্য বা ওজন বস্তুটির পরিমাণগত বৈশিষ্ট্য। আবার, দণ্ডটির উপাদান একটি ধাতু—এই তথ্যটি ইহার গুণগত বৈশিষ্ট্য।

প্রাত্যহিক জীবনে আমরা ওজন বা দৈর্ঘ্য ছাড়াও বহুবিধ রাশির সংস্পর্শে আসিয়া থাকি। যেমন, এক লিটার দুধ বলিলে দুধের আয়তন এক লিটার বোঝা যায়। সুতরাং আয়তন একটি রাশি। আবার কোন ঘটনার ব্যাপ্তিকে আমরা সময় দিয়া মাপিয়া থাকি। সুতরাং সময়ও একটি রাশি। অনুরূপে, বেগ, ভর, কার্য, ঘনত্ব, তাপমাত্রা, দ্রবণীয়তা ইত্যাদি বিজ্ঞানের রাশিমালার অন্তর্গত। প্রাকৃতিক বিজ্ঞানের অন্তর্গত এই সকল রাশিকে **প্রাকৃতিক রাশি** বলে।

রাশি দুই প্রকার: **স্কেলার** (scalar) রাশি ও **ভেক্টর** (vector) রাশি। যে রাশির পরিমাপ করিতে শুধু মানের (magnitude) প্রয়োজন হয়, কিন্তু দিক্‌নির্দেশের (direction) প্রয়োজন হয় না, তাহাকে স্কেলার রাশি, আর যে সকল রাশির পরিমাপের জন্য মান ও দিক্‌নির্দেশ উভয়েরই প্রয়োজন, তাহাদের ভেক্টর রাশি বলে। ভর, ক্ষেত্রফল, ঘনত্ব ইত্যাদি রাশি স্কেলার আর বেগ, ত্বরণ ইত্যাদি ভেক্টর রাশির উদাহরণ।

যে-কোন রাশি মাপিতে গেলে রাশিটির একটি নির্দিষ্ট পরিমাণকে আদর্শ-মান (standard) ধরা হয়। ইহাকে **একক** (unit) বলে। ব্যবহৃত রাশি-গুলির মধ্যে তিনটি রাশির একককে **প্রাথমিক** (fundamental) একক বলা হয়। ইহারা দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের একক। বাকী রাশিগুলির একক

ইহাদের উপর নির্ভরশীল বলিয়া উহাদের **লব্ধ** (derived) একক বলে। প্রাথমিক একক তিনটি পরস্পরের উপর নির্ভরশীল নয়।

প্রাথমিক এককগুলি প্রকাশের জন্য দুইটি সাধারণ একক প্রণালী প্রচলিত আছে : (1) সি. জি. এস. বা মেট্রিক-পদ্ধতি (C. G. S. or Metric system) ও (2) এফ. পি. এস. বা বৃটিশ-পদ্ধতি (F. P. S. or British system)। সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের একক যথাক্রমে সেন্টিমিটার (cm.), গ্রাম (gm.) ও সেকেণ্ড (second) দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

ফ্রান্সে অবস্থিত ওজন ও অন্যান্য পরিমাপ সম্পর্কিত আন্তর্জাতিক সংস্থার (International Bureau of Weights and Measures) কার্যালয়ে রক্ষিত প্ল্যাটিনাম-ইরিডিয়াম ধাতুসংকর দ্বারা প্রস্তুত একটি দণ্ডের 0°C-এ নিরূপিত দৈর্ঘ্যকে এক মিটার বলা হইয়াছে। এই মিটারের একশত ভাগের এক ভাগকে বলা হয় সেন্টিমিটার। এই দুই একক ছাড়াও ছোট দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য মিলিমিটার এবং মাঝারি বা খুব বড় দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য ডেসিমিটার, কিলোমিটার ইত্যাদি এককের প্রচলন আছে।

ফ্রান্সে অবস্থিত ওজন ও পরিমাপ সম্পর্কিত আন্তর্জাতিক সংস্থার কার্যালয়ে রক্ষিত প্ল্যাটিনাম-ইরিডিয়াম ধাতুসংকর হইতে প্রস্তুত একটি চোঙার ভরকে এক কিলোগ্রাম বলিয়া ধরা হয়। গ্রাম হইতেছে এক কিলোগ্রামের হাজার ভাগের এক ভাগ। বিভিন্ন ভর গ্রামের ভগ্নাংশ বা গুণিতাংশে প্রকাশ করা হয়।

এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের একক যথাক্রমে ফুট (foot), পাউণ্ড (lb.) ও সেকেণ্ড।

লণ্ডনস্থ বোর্ড অফ্ ট্রেডের (Board of Trade) কার্যালয়ে রক্ষিত একটি ব্রোঞ্জনির্মিত দণ্ডের উপর দুইটি নির্দিষ্ট দাগের মধ্যবর্তী দূরত্বকে (62°F তাপমাত্রায় রক্ষিত) একগজ বলিয়া ধরা হয়। একগজের তিনভাগের এক ভাগকে এক ফুট বলে। উক্ত কার্যালয়ে রক্ষিত একটি নির্দিষ্ট প্ল্যাটিনাম ধাতুপিণ্ডের ভরকে এক পাউণ্ড ধরা হয়।

এফ. পি. এস. ও সি. জি. এস. উভয় পদ্ধতিতে সময়ের একক সেকেণ্ড। একটি গড় সৌরদিনকে 24 ঘণ্টায়, 1 ঘণ্টাকে 60 মিনিটে ও 1 মিনিটকে 60 সেকেণ্ডে ভাগ করা হইয়াছে। সুতরাং একটি গড় সৌরদিন $=24\times60\times60$ সেকেণ্ড $=86{,}400$ সেকেণ্ড বা 1 সেকেণ্ড গড় সৌরদিনের $\frac{1}{86{,}400}$ অংশ।

উপরোক্ত দুই পদ্ধতি ছাড়া আর একটি পদ্ধতি প্রচলিত আছে। ইহার নাম এম. কে. এস. (M. K. S.)-পদ্ধতি। এই পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের

একক যথাক্রমে মিটার, কিলোগ্রাম ও সেকেণ্ড। পরিমাপের সুবিধার জন্য এই পদ্ধতি বর্তমানে বহুল ব্যবহৃত হয়।

দুই পদ্ধতির প্রয়োজনীয় একক ও তাহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক নিম্নে দেওয়া হইল :

(a)

10 মিমি. (m.m.)=1 সে.মি. (cm.)	12 ইঞ্চি (inch)=1 ফুট (ft.)
10 সে.মি. (cm.)=1 ডে.মি. (dcm.)	3 ফুট =1 গজ (yard)
10 ডেসিমি. =1 মিটার (m.)	220 গজ =1 ফার্লং (furlong)
10 মিটার =1 ডেকামি. (dm.)	8 ফার্লং=1760 গজ=1 (মাইল)
10 ডেকামি. =1 হেক্টোমি. (hm.)	6 ফুট =1 ফ্যাদম্ (fathom)
10 হেক্টোমি. =1 কি.মি. (km)	6080 গজ =1 নট (knot)

1 মিটার =39·37 ইঞ্চি
1 কি.মি. =·621 মাইল
1 মাইল =1·609 কি.মি.
1 ইঞ্চি =2·54 সে.মি.
1 ফুট =30·48 সে.মি.

খুব বড় ও খুব ছোট দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য ব্যবহৃত একক :

1 অ্যাস্ট্রোনমিক্যাল একক (Astronomical unit) $=1{\cdot}495\times10^8$ কি.মি. $=9{\cdot}289\times10^7$ মাইল
1 আলোক বর্ষ (Light year) $=5{\cdot}94\times10^{12}$ মাইল
1 মাইক্রন (Micron, μ) $=10^{-4}$ সে.মি.
1 এ্যাংস্ট্রম (Angstrom, Å) $=10^{-8}$ সে.মি.

(b)

10 মিলিগ্রাম (mg.)=1 সেন্টিগ্রাম	16 ড্রাম (drum)=1 আউন্স (oz.)
10 সেন্টিগ্রাম =1 ডেসি.গ্রা.	16 আউন্স =1 পাউণ্ড (lb.)
10 ডেসিগ্রাম =1 গ্রাম (gm.)	28 পাউণ্ড =1 কোয়ার্টার
10 গ্রাম =1 ডেকা.গ্রা.	4 কোয়ার্টার =1 হন্দর (cwt.)
10 ডেকাগ্রাম =1 হেক্টো.গ্রা.	20 হন্দর =1 টন (ton)
10 হেক্টোগ্রাম =1 কি.গ্রা. (kg).	
100 কিলোগ্রাম =1 কুইন্টাল	

1 আউন্স =28·35 গ্রাম

1 পাউণ্ড =453·6 গ্রাম=0·4536 কিলোগ্রাম

1 কিলোগ্রাম=2·205 পাউণ্ড

1 টন =2240 পাউণ্ড

(c) আয়তন-সংক্রান্ত রাশি : যে ঘনকের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা তিনটিই এক সে.মি. তাহার আয়তনকে 1 ঘন সে.মি. বলা হয় এবং সি. জি. এস.-পদ্ধতি অনুসারে ইহাই আয়তনের একক। এই পদ্ধতিতে প্রচলিত অপর একটি উল্লেখযোগ্য একক 1 লিটার (litre)। 4°C তাপমাত্রায় 1 কিলোগ্রাম বিশুদ্ধ জলের আয়তনকে 1 লিটার বলা হয়। ঐ তাপমাত্রায় প্রতি গ্রাম জলের আয়তন 1 ঘন সে.মি. বলিয়া 1 কি.গ্রা. জলের মোট আয়তন হইবে 1000 ঘন সে.মি. বা 1 ঘন ডেসিমিটার। জলের ঘনত্ব তাপমাত্রার সহিত পরিবর্তিত হয় বলিয়া তাপমাত্রার সহিত 1 কিলোগ্রাম জলের মোট আয়তনও পরিবর্তিত হয়। কাজের সুবিধার জন্য সর্বদাই 1 লিটার এককটিকে 1 ঘন ডেসিমিটারের সমান ধরা হয়। এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে আয়তনের একক 1 ঘনফুট (c.ft.)।

1 লিটার =1 ঘন ডেসিমিটার=1000 ঘন সেন্টিমিটার (c.c.)

1 ঘনফুট =1728 ঘনইঞ্চি

1 ঘনগজ =27 ঘনফুট

1 ঘনইঞ্চি =16·386 ঘন সে.মি.

1 ঘনফুট =28·3153 লিটার

তরল পদার্থ মাপিবার জন্য অপর একটি বহুল প্রচলিত একক হইতেছে **গ্যালন** (gallon)।

1 গ্যালন=4·546 লিটার

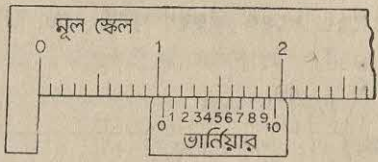
1 ঘনফুট =6·2286 গ্যালন

1.2. প্রাকৃতিক রাশির পরিমাপ-পদ্ধতি (Methods of measuring physical quantities) :

সাধারণ দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য স্কেল, ভর মাপিবার জন্য তুলাদণ্ড ও সময় নির্ণয়ের জন্য স্টপ-ঘড়ি ইত্যাদির কথা নবম ও দশম শ্রেণীর পাঠে বিশদভাবে আলোচিত হইয়াছে। অধিকতর নির্ভুলভাবে দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য কয়েকটি যন্ত্রের কথা এখানে আলোচনা করা হইল। সাধারণ স্কেলে ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য মাপিবার সময় যে ত্রুটি থাকে, তাহা এই সমস্ত যন্ত্রে অনেকাংশে দূর করা যায়।

(1) **ভার্নিয়ার** (Vernier) **স্লাইড ক্যালিপার্স** (Slide callipers) **:** সাধারণ স্কেলের সর্বাপেক্ষা ছোট ঘরের মানের কম দৈর্ঘ্য চোখের আন্দাজে লওয়া হয়। কিন্তু ইহা ত্রুটিপূর্ণ।

ফরাসী গণিতজ্ঞ পি. ভার্নিয়ারের আবিষ্কৃত ভার্নিয়ারের সাহায্যে দৈর্ঘ্যের সূক্ষ্মতর মাপ নির্ভুল-ভাবে করা যায়। ভার্নিয়ার স্কেল (চিত্র 1.1) মূল স্কেলের গায়ে লাগান থাকে। ইহা মূল স্কেলের গা বাহিয়া বামে বা দক্ষিণে সহজে যাতায়াত করিতে পারে। ভার্নিয়ার স্কেলে যে ছোট ভাগগুলি থাকে, তাহা মূল স্কেলের একটি ছোট ভাগ (1 m.m.) হইতে কিছু ছোট।



চিত্র 1.1

ধরা যাক, ভার্নিয়ার স্কেলের n-সংখ্যক ভাগ মূল স্কেলের $(n-1)$ সংখ্যক ভাগের সহিত মিলিয়া যায়। তাহা হইলে

$$n \text{ ভার্নিয়ার ভাগ} = (n-1) \text{ মূল স্কেলের ভাগ}$$

$$\therefore\ 1 \quad " \quad " = \left(\frac{n-1}{n}\right) \quad " \quad " \quad "$$

$$\therefore \text{ দুই স্কেলের এক ভাগের মধ্যে পার্থক্য} = 1 - \frac{n-1}{n} = \frac{1}{n}$$

মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম এক ভাগ এবং ভার্নিয়ার স্কেলের এক ভাগের দৈর্ঘ্যের অন্তরফলকে **ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক** বলে।

$$\text{ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক} = \frac{1}{n} \times \text{মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগের দৈর্ঘ্য}$$

ভার্নিয়ার স্কেলে যদি 10টি ভাগ থাকে এবং মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ভাগ=1 মি.মি. হয়, তবে—

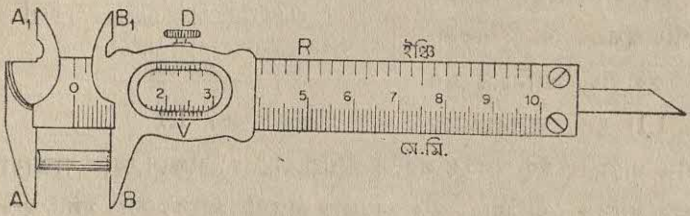
$$\text{ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক} = \frac{1}{10} \times 1 \text{ মি.মি.}$$

$$= \frac{1}{10} \text{ মি.মি.} = 0{\cdot}1 \text{ মি.মি.}$$

$$= {\cdot}01 \text{ সে.মি.}$$

স্লাইড ক্যালিপার্স যন্ত্রটি (চিত্র 1.2) একটি সাধারণ স্কেল ও একটি ছোট ভার্নিয়ারের সমষ্টিমাত্র। মূল স্কেলটি একটি সমান প্রস্থের ধাতব পাতলা পাত (R) দ্বারা নির্মিত। ইহার উপরিভাগে ইঞ্চি ও উহার ক্ষুদ্রাংশে এবং নিম্নভাগে সেন্টিমিটার ও মিলিমিটারে দাগ কাটা আছে। ভার্নিয়ার স্কেলটি

(V) মূল স্কেলের গা বাহিয়া বামে বা দক্ষিণে চলাফেরা করিতে পারে। D স্ক্রু সাহায্যে ইহা করা হয়। পাতের শুরুতে নীচের দিকে একটি দাড়া (A) ও উপর দিকে একটি দাড়া (A_1) আছে। ইহারা পাতের সাপেক্ষে অনড়। ভার্নিয়ারের সঙ্গেও অনুরূপ দুইটি দাড়া (B এবং B_1) আছে—তবে ইহারা



চিত্র 1.2

ভার্নিয়ারের সাপেক্ষে অনড় বলিয়া মূল স্কেল বরাবর ভার্নিয়ারের সহিত চলাফেরা করে। যখন A এবং B ও A_1 এবং B_1 পরস্পর মিশিয়া যায় তখন ভার্নিয়ারের '0' দাগ মূল স্কেলের '0' দাগের সহিত মিলিয়া যায়। এইরূপ ক্ষেত্রে যন্ত্রটির কোন যান্ত্রিক ত্রুটি (instrumental error) নাই বলিয়া ধরা হয়।

যে বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে তাহাকে A এবং B দাড়ার মাঝে রাখা হয় এবং D স্ক্রুর সাহায্যে ভার্নিয়ারটি আস্তে আস্তে সরাইয়া দাড়া দুইটি দিয়া বস্তুটিকে সাবধানে চাপিয়া ধরিতে হয়। এমতাবস্থায় ভার্নিয়ারের '0'-দাগ মূল স্কেলের যে পাঠ দেয়, তাহা দেখিতে হইবে। অতঃপর ভার্নিয়ারের কত সংখ্যক দাগ মূল স্কেলের দাগের সহিত মিলিয়াছে তাহা পাঠ করিয়া এই পাঠকে ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক দ্বারা গুণ করিতে হইবে। মূল স্কেলের পাঠের সহিত এই মান যোগ করিলে বস্তুটির দৈর্ঘ্য পাওয়া যাইবে।

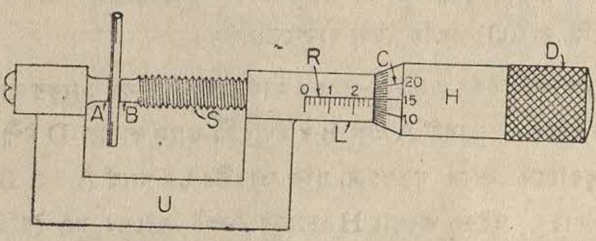
চিত্রের ভার্নিয়ারটির ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক ·01 সে.মি.। চিত্র অনুযায়ী A এবং B দাড়া দুইটির মধ্যে রক্ষিত চোঙটির দৈর্ঘ্য = 1·8 সে.মি. (মূল স্কেল পাঠ) + 8 (ভার্নিয়ার পাঠ) × ·01 সে.মি. (ভার্নিয়ার স্থিরাঙ্ক) = 1·8 সে.মি. + ·08 সে.মি. = 1·88 সে.মি.।

দেখা যাইতেছে, এই ধরনের স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে ·01 সে.মি. দৈর্ঘ্য পর্যন্ত নির্ভুলভাবে মাপা যায়।

A_1 এবং B_1 দাড়া দুইটি নলের বা ফাঁপা চোঙের ভিতরের ব্যাস মাপার কাজে ব্যবহার করা হয়।

A এবং B দাড়া দুইটি একত্রিত হইলে যদি ভার্নিয়ারের '0'-দাগ মূল স্কেলের '0'-দাগের সহিত মিশিয়া না যায়, তবে স্লাইড ক্যালিপার্স'কে যান্ত্রিক ত্রুটিযুক্ত বলা হয়। ভার্নিয়ারের '0'-দাগ মূল স্কেলের বামপার্শ্বে থাকিলে ঐ অবস্থায় যে পাঠ হইবে তাহা বস্তুটির নির্ণীত দৈর্ঘ্যের সহিত যোগ করিয়া এই যান্ত্রিক ত্রুটি দূর করিতে হইবে। বিপরীতে, ডানপার্শ্বে থাকিলে যে পাঠ পাওয়া যাইবে তাহা নির্ণীত দৈর্ঘ্য হইতে বিয়োগ করিতে হইবে। এই যন্ত্রে উপরের এবং নীচের স্কেলের সাহায্যে একই সঙ্গে সে.মি. এবং ইঞ্চিতে পাঠ লওয়া যায়।

(2) **স্ক্রু-গেজ বা মাইক্রোমিটার স্ক্রু** (Screw Gauge or Micrometer Screw) **:** সরু তারের ব্যাস, পাতলা পাতের বেধ ইত্যাদি সঠিকভাবে মাপিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। এই যন্ত্রে (চিত্র 1.3)



চিত্র 1.3

U-আকৃতির একটি ইস্পাতদণ্ডের একটি বাহুর সহিত একটি দণ্ড A দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে। U-দণ্ডের অপর বাহুর সহিত একটি ফাঁপা চোঙ L লম্বভাবে আবদ্ধ। চোঙের উপর উহার অক্ষের সমান্তরাল একটি মিলিমিটার স্কেল কাটা আছে। স্কেলটি যে রেখার (R) উপর অংকিত, তাহাকে মানরেখা (reference line) বলে। এই চোঙের ভিতর দিয়া একটি ধাতব প্যাঁচ-কাটা দণ্ড BS সহজে যাতায়াত করিতে পারে। এই স্ক্রুর B প্রান্ত সমতল এবং A দণ্ডের তলের সমান্তরাল। চোঙের গা বরাবর একটি ধাতববেষ্টনী H আছে। ইহার একপ্রান্তে একটি চক্রাকার স্কেল C এবং অপর প্রান্তে একটি টুপী D অবস্থিত। D টুপীটি ঘুরাইলে L চোঙের গা বাহিয়া H বেষ্টনীটি ঘুরিতে থাকিবে, ফলে চক্রাকার স্কেলটিও ঘুরিবে এবং স্ক্রুর B প্রান্তটি A প্রান্তের কাছাকাছি অগ্রসর হইবে বা দূরে সরিয়া যাইবে। H বেষ্টনীর একবার পূর্ণ ঘূর্ণনের ফলে BS স্ক্রুটি কতটা সরিতেছে তাহা রৈখিক স্কেল হইতে সহজে জানা যাইবে।

যন্ত্রটি ব্যবহারের পূর্বে ইহার **লঘিষ্ঠ ধ্রুবক** (least count) বাহির করিতে হইবে। যে সর্বনিম্ন দৈর্ঘ্য এই যন্ত্র পরিমাপ করিতে সমর্থ তাহাকে ইহার লঘিষ্ঠ ধ্রুবক বলা হয়। ইহা বাহির করিবার জন্য D টুপীটি ঘুরাইয়া চক্রাকার স্কেলের '0'-দাগ মানরেখার সহিত মিলাইতে হইবে। অতঃপর স্ক্রুটি সম্পূর্ণ একবার ঘুরাইলে বেষ্টনী H রৈখিক স্কেল বরাবর কতটা অগ্রসর হইল তাহা দেখিতে হইবে। বেষ্টনীর এই রৈখিক সরণকে **স্ক্রু-পিচ** (screw-pitch) বলা হয়। এখন,

$$\text{লঘিষ্ঠ ধ্রুবক} = \frac{\text{স্ক্রু-পিচ}}{\text{চক্রাকার স্কেলের মোট ভাগ-সংখ্যা}}\text{।}$$

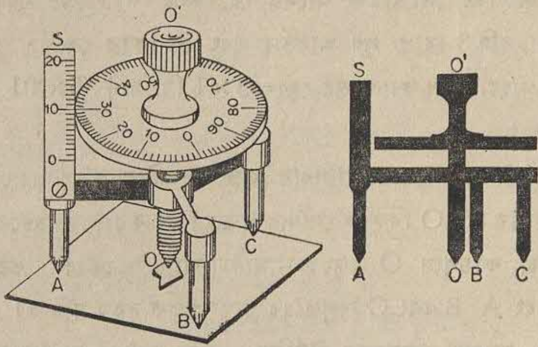
যদি চক্রাকার স্কেলে মোট 100টি ভাগ থাকে এবং স্ক্রু-পিচ 1 মি.মি. হয়, তবে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক $=\frac{1}{100}$ মি.মি. $=$ ·01 মি.মি.। কাজেই যন্ত্রটি সেক্ষেত্র ন্যূনতম ·01 মি.মি. বা ·001 সে.মি. দৈর্ঘ্য মাপিতে সক্ষম।

ধরা যাক, এইরূপ একটি স্ক্রু-গেজের সাহায্যে একটি সরু তারের ব্যাস নির্ণয় করিতে হইবে। তারটি A এবং B-র মধ্যবর্তী স্থানে রাখিয়া D টুপীটি ধীরে ধীরে ঘুরাইতে হইবে যতক্ষণ না পর্যন্ত তারটির দুই পার্শ্বে A এবং B প্রান্তদ্বয় ঠেকিয়া যায়। এইরূপ অবস্থায় H চোঙের নিকট সর্বশেষ দৃষ্ট রৈখিক স্কেল পাঠ করিতে হইবে এবং মানরেখার সহিত বৃত্তাকার স্কেলের যে দাগ মিলিয়াছে, তাহা লক্ষ্য করিতে হইবে। ধরা যাক, রৈখিক স্কেলের পাঠ 1 মি.মি. এবং চক্রাকার স্কেলের পাঠ 25 হইল। সুতরাং তারটির ব্যাস= 1 মি.মি. + (25 × ·01) মি.মি. = 1·25 মি.মি.।

স্লাইড ক্যালিপার্সের মত এই যন্ত্রেও কিছু যান্ত্রিক ত্রুটি থাকিতে পারে। A এবং B প্রান্তদ্বয় পরস্পরকে স্পর্শ করিলে যদি চক্রাকার স্কেলের '0'-দাগ রৈখিক স্কেলের '0'-দাগের সহিত না মেলে তবে যন্ত্রটি ত্রুটিযুক্ত বুঝিতে হইবে। A এবং B প্রান্তদ্বয় মিলিয়া যাইবার পরেও চক্রাকার স্কেলের '0'-দাগ রৈখিক স্কেলের '0'-দাগ পর্যন্ত যদি না পৌছায় তবে ঐ অবস্থায় যে পাঠ হইবে তাহা নির্ণীত দৈর্ঘ্য হইতে বিয়োগ করিতে হইবে। বিপরীত ক্ষেত্রে, অর্থাৎ দাগ ছাড়াইয়া গেলে যে পাঠ পাওয়া যাইবে তাহা নির্ণীত দৈর্ঘ্যের সহিত যোগ করিতে হইবে। যন্ত্র নির্মাণকালে এই ত্রুটি থাকিতে পারে কিংবা বহুদিন এই যন্ত্র ব্যবহার করবার পরে এই ধরনের ত্রুটি জন্মায়। দৈর্ঘ্য নির্ণয়কালে A এবং B প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বস্তুকে খুব জোরে চাপিয়া ধরা উচিত নহে।

(3) স্ফেরোমিটার (Spherometer) :

ভঙ্গুর পদার্থের পাতলা প্লেটের বেধ লেন্সের বক্রতা ব্যাসার্ধ, ইত্যাদি মাপিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। যন্ত্রটি একটি তিন-পায়া আসনের মত। A, B ও C ইহার তিনটি পা (চিত্র 1·4)। এই আসনের মধ্য দিয়া একটি প্যাঁচকাটা দণ্ড OO′ লাগান আছে। এই দণ্ডের টুপী O′ ঘুরাইয়া দণ্ডটিকে উপর-নীচে যাতায়াত করান যায়। দণ্ডের উপর প্রান্তে একটি



চিত্র 1.4

চক্রাকার স্কেল আছে। টুপী ঘুরাইলে দণ্ডের সহিত চক্রাকার স্কেলটিও উঠা-নামা করে। চক্রাকার স্কেলের গা স্পর্শ করিয়া একটি উল্লম্ব রৈখিক মিলি-মিটার স্কেল S একটি পা A-এর উপর দৃঢ়ভাবে আটকান আছে। চক্রাকার স্কেল আবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে রৈখিক স্কেলের বিভিন্ন দাগে চলাচল করে।

এই যন্ত্রের মূলনীতি স্ক্রু-গেজের মত। চক্রাকার স্কেলের একবার পূর্ণ আবর্তনের জন্য ইহা রৈখিক স্কেলের গা বরাবর যতটা নামিবে বা উঠিবে, তাহাই যন্ত্রটির পিচ। ইহাকে চক্রাকারে স্কেলের ভাগ-সংখ্যা দিয়া ভাগ করিলে যন্ত্রটির লঘিষ্ঠ ধ্রুবক পাওয়া যায়। উদাহরণস্বরূপ, যদি যন্ত্রটির পিচ 1 মি.মি. হয়, এবং চক্রাকার স্কেলের মোট ভাগ-সংখ্যা 100 হয়, তবে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক=1 মি.মি./100=·01 মি.মি.।

কোন ভঙ্গুর পদার্থ যেমন কাচখণ্ডের বেধ নির্ণয় করিতে হইলে বস্তুটি একটি সমতল কাচের প্লেটে রাখিয়া O′ টুপীটি ঘুরাইতে হইবে যাহাতে O বিন্দু কাচখণ্ডের কাছাকাছি আসিতে পারে। টুপীটি আরও ঘুরাইয়া O বিন্দুকে কাচখণ্ডের সহিত স্পর্শ করাইতে হইবে—এমতাবস্থায় কাচখণ্ডে O বিন্দুর ছায়া ও O বিন্দু মিলিয়া যাইবে। এখন, চক্রাকার স্কেলের যে ভাগ

রৈখিক স্কেলকে স্পর্শ করিয়াছে তাহা লক্ষ্য করিতে হইবে। কাচখণ্ডটি এবার সরাইয়া O´ টুপীটিকে পূর্বের মত একই দিকে ঘুরাইয়া O বিন্দুকে কাচের প্লেটের উপর স্পর্শ করাইতে হইবে। মোট কতবার চক্রাকার স্কেলটি পূর্ণ আবর্তন করিল তাহা দেখিতে হইবে। চক্রাকার স্কেলের শেষের পাঠ হইতে অতিরিক্ত পাঠ হিসাব করিয়া তাহাকে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক দ্বারা গুণ করিলে পূর্ণ আবর্তনের পরে অতিরিক্ত মান পাওয়া যাইবে। পূর্ণ আবর্তনের জন্য মান এবং এই অতিরিক্ত মানের যোগফলই কাচখণ্ডের বেধ হইবে। উদাহরণস্বরূপ, যদি 3 বার পূর্ণ আবর্তন এবং চক্রাকার স্কেলের অতিরিক্ত পাঠ 55 ভাগ হয়, তবে কাচখণ্ডের বেধ=3×1 মি.মি.+55×·01 মি.মি= 3·55 মি. মি.।

লেন্সের বক্রতা ব্যাসার্ধ মাপিবার জন্য লেন্সটিকে কাচের প্লেটে রাখিয়া একইভাবে ইহার স্ক্রুর O বিন্দুকে লেন্সের গাত্রে স্পর্শ করাইতে হইবে। পরে লেন্স সরাইয়া কাচপৃষ্ঠে O বিন্দুকে নামাইয়া আনিতে হইবে। এই পরিমাণ যদি h হয় এবং A, B এবং C বিন্দুত্রয়ের পারস্পরিক দূরত্ব যদি D হয় (এই বিন্দুত্রয় এক সমবাহু ত্রিভুজের শীর্ষবিন্দু), তবে পরীক্ষাধীন লেন্সের বক্রতা-ব্যাসার্ধ, $R=\frac{D^2}{6h}+\frac{h}{2}$

উদাহরণ (Examples) :

1. মাউণ্ট এভারেস্টের উচ্চতা 29,141 ফুট। ইহাকে মাইল ও কিলোমিটারে প্রকাশ কর।

উঃ। 29,141 ফুট $=\frac{29,141}{3\times1760}$ মাইল

$=5·519$ মাইল (প্রায়)

আবার, 29,141 ফুট $=\frac{29,141}{3\times1760}\times1·609$ কি.মি.

$=8·880$ কি.মি. (প্রায়)।

2. একটি 100 গজ দৌড় প্রতিযোগিতাকে 100 মিটারে পরিবর্তন করা হইল। ইহাতে দৌড়টি কতখানি বৃদ্ধি পাইল তাহা ফুট ও ইঞ্চিতে প্রকাশ কর। [H. S. 1963]

উঃ। 100 মিটার $=100\times39·37$ ইঞ্চি

$=3937$ ইঞ্চি ;

$$100 \text{ গজ} = 100 \times 36 \text{ ইঞ্চি}$$
$$= 3600 \text{ ইঞ্চি};$$
$$\therefore \text{ বৃদ্ধি} = (3937 - 3600) \text{ ইঞ্চি}$$
$$= 337 \text{ ইঞ্চি}$$
$$= 28 \text{ ফুট } 1 \text{ ইঞ্চি।}$$

3. সূর্যের ভর $1{\cdot}941 \times 10^{29}$ টন। ইহাকে গ্রামে প্রকাশ কর।

উঃ। $1{\cdot}941 \times 10^{29}$ টন $= 1{\cdot}941 \times 10^{29} \times 2240$ পাউণ্ড

$= 1{\cdot}941 \times 10^{29} \times 2240 \times 453{\cdot}6$ গ্রাম

$= 19{\cdot}72 \times 10^{34}$ গ্রাম (প্রায়)।

4. কোন হ্রদে জলের গভীরতা 1732 ফ্যাদম। জলের উপরে শব্দ করিলে কতক্ষণ পরে সেই জায়গায় প্রতিফলিত শব্দ শোনা যাইবে? জলে শব্দের বেগ 1450 মিটার/সেকেণ্ড।

উঃ। 1732 ফ্যাদম $= 1732 \times 6$ ফুট

$= 1732 \times 6 \times {\cdot}3048$ মিটার

শব্দতরঙ্গ যাতায়াতে মোট পথ অতিক্রম করে $2 \times 1732 \times 6 \times {\cdot}3048$ মিটার

$$\therefore \text{ নির্ণেয় সময়} = \frac{2 \times 1732 \times 6 \times {\cdot}3048}{1450} \text{ সেকেণ্ড}$$

$= 4{\cdot}37$ সেকেণ্ড (প্রায়)।

প্রশ্নাবলী

1. যদি 40 সের 82·2 পাউণ্ডের সমান হয়, তবে এক সের এবং এক কিলোগ্রামের পার্থক্য গ্রামে প্রকাশ কর।

[If 40 seers weigh 82·2 lbs., express the difference between a seer and a kilogram in gms.]

[H. S. 1963] [Ans. 67·86 gm.]

2. পূর্বে পেট্রল গ্যালন হিসাবে বিক্রয় হইত, বর্তমানে লিটারে বিক্রয় হয়। কোন ব্যক্তিকে যদি বর্তমানে এক গ্যালন পেট্রলের পরিবর্তে পাঁচ লিটার পেট্রল কিনিতে হয়, তাহা হইলে পেট্রল বাবদ শতকরা খরচ বৃদ্ধি নির্ণয় কর।

[1 গ্যালন জলের ওজন = 10 পাউণ্ড]

[Petrol which was used to be sold in gallons previously, is now sold in litres. Find the percentage increase in the cost of petrol if one has to purchase 5 litres instead of 1 gallon. Given : 1 gallon of water weighs 10 lbs.

[H. S. 1963] [Ans. 10·22%]

3. একটি ঘনকাকৃতি জলাশয়ের আয়তন 1000 গ্যালন। উহার গভীরতা মিটারে প্রকাশ কর।

[A cubical tank has a capacity of 1000 gallons. Express its depth in metres.] [H. S. 1965] [Ans. 1·655 metres]

4. একটি আয়তাকার বাক্সের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা যথাক্রমে 10 ফুট, 8 ফুট ও 6 ফুট। ঐ বাক্সে আবদ্ধ বায়ুর ভর (a) কিলোগ্রামে এবং (b) পাউণ্ডে নির্ণয় কর। বায়ুর ঘনত্ব=1·29 গ্রাম/লিটার।

[A rectangular box has length, breadth and height 10 ft., 8 ft. and 6 ft. respectively. Find out the mass of the enclosed air in (a) kilogram and (b) pound. Density of air= 1·29 gm/litre] [Ans. (a) 17·53 kg. (b) 38·65 lbs.]

5. 1 ঘন সে.মি. জলের ওজন 1 গ্রাম এবং কাচ জল অপেক্ষা 2·5 গুণ ভারী হইলে, 1 ঘনমিটার কাচের ওজন কত কিলোগ্রাম ?

[If 1 c.c. of water weighs 1 gm. and if glass is 2·5 times heavier than water, how many kilograms are there in 1 c.c. of glass ?] [C. U. 1948] [Ans. 2500 kg.]

6. যদি 1 ইঞ্চি=2·54 সে.মি. হয়, তবে 29160 ঘনগজ একটি গর্ত ভর্তি করিতে 25 সে.মি. লম্বা, 5 সে.মি. চওড়া ও 5 সে.মি. পুরু কতগুলি পাথর লাগিবে ?

[If 1 inch=2·54 cm., how many pieces of stone 25 cm. long, 5 cm. wide and 5 cm. thick will be required to fill in a pit of 29160 cubic yards ?] [Ans. 34012224]

———

বলবিদ্যা (Mechanics)

প্রথম অধ্যায় : কণাগতিবিদ্যা (Particle Dynamics)

1.1. স্থিতি ও গতি (Rest and Motion) :

আমরা আমাদের চারিপাশে যে সকল বস্তু দেখি, তাহাদের দুই ধরনের অবস্থান দেখিতে পাই। হয় সময়ের পরিপ্রেক্ষিতে বস্তুর অবস্থানের তারতম্য ঘটিতেছে নতুবা সময়ের পরিবর্তনের সঙ্গে বস্তুর অবস্থান অপরিবর্তিত থাকিতেছে। প্রথম ক্ষেত্রে বস্তুকে আমরা বলি **গতিশীল** বস্তু, আর দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বলি **স্থির**। একই বস্তু বিভিন্ন সময়ে স্থির থাকিতে পারে বা গতিশীল হইতে পারে। মাটির উপর একটি বল পড়িয়া থাকিলে আমরা বলি যে, বলটি স্থির রহিয়াছে। পা দিয়া বলটিকে ঠেলিয়া দিলে উহার অবস্থানের পরিবর্তন ঘটে, বলটি গতিশীল হয়। কতকগুলি বস্তুকে অবশ্য আমরা সবসময় নিশ্চল দেখি, যেমন—গাছপালা, স্তম্ভ, বাড়ি-ঘর ইত্যাদি। কিন্তু, একটু গভীরে চিন্তা করিলে দেখা যাইবে যে, ইহারাও স্থির নাই। এই পৃথিবীতে কোন বস্তুই **চরম স্থির** (absolute rest) নয়। ইহার কারণ, পৃথিবী তাহার উপরিস্থিত গাছপালা, বাড়ি-ঘর, লোকজন সব সমেত সর্বদা আপন কক্ষের চারিদিকে আবর্তন করিতেছে এবং সেইসঙ্গে প্রচণ্ড গতিতে তাহার কক্ষপথে সূর্যকে প্রদক্ষিণ করিতেছে। আমরা পৃথিবীর উপরে অবস্থিত থাকিয়া পৃথিবীর এই প্রচণ্ড গতিকে অনুভব করিতে পারি না। পৃথিবী গতিশীল হওয়ায়, পৃথিবী পৃষ্ঠের সকল বস্তুই গতিশীল। প্রকৃতপক্ষে, শুধু পৃথিবী কেন, মহাবিশ্বের কোন বস্তুই স্থির নয়। **চরম স্থিরতা একেবারে অসম্ভব।** চরম স্থির কোন বস্তুর অস্তিত্ব আমাদের জানা নাই।

সুতরাং, স্থির বস্তু বলিতে আমরা যাহা বুঝি, তাহা অন্য বস্তুর তুলনায় স্থির। স্থিরতা বুঝাইবার জন্য আমরা **নির্দেশতন্ত্র** (frame of reference) বা জড়ত্বীয় কাঠামো (Inertial frame) ব্যবহার করি। এই **নির্দেশতন্ত্র সাপেক্ষে কোন বস্তু যদি সময়ের সঙ্গে স্থান পরিবর্তন না করে, তবে আমরা তাহাকে স্থির বস্তু বলি।** বস্তুটি যদি গতিশীল হয় এবং নির্দেশতন্ত্র যদি সেইসঙ্গে গতিশীল থাকে যাহাতে নির্দেশতন্ত্র সাপেক্ষে বস্তুটির সময়ের সঙ্গে অবস্থানের পরিবর্তন না ঘটে তবে, অন্য বস্তুর তুলনায় বস্তুটি গতিশীল

হইলেও উক্ত নির্দেশতন্ত্র সাপেক্ষে উহা স্থির। সুতরাং, দেখা যাইতেছে স্থিরতা আপেক্ষিক মাত্র।

একটি চলমান বাসে দুইজন আরোহী যদি পরস্পরের তুলনায় অবস্থানের পরিবর্তন না করে তবে তাহারা একে অন্যের তুলনায় স্থির। কিন্তু রাস্তায় দণ্ডায়মান কোন ব্যক্তির নিকট তাহারা দুজনেই গতিশীল। সমান ওজন ও আয়তনের দুইটি লোহার বলকে উপর হইতে খাড়াভাবে নীচে ফেলিলে উহারা সমান্তরাল পথে একই সঙ্গে মাটিতে পড়িবে। মাটিতে পড়ার আগে, উহারা পরস্পরের তুলনায় স্থির, কিন্তু মাটির তুলনায় উহারা গতিশীল। দেখা যাইতেছে, একই বস্তু দুইটি বিভিন্ন বস্তুর তুলনায় বা দুইটি বিভিন্ন নির্দেশতন্ত্রের সাপেক্ষে একই সঙ্গে স্থির বা গতিশীল বলিয়া মনে হয়। সাধারণতঃ সকল পার্থিব বস্তুর ক্ষেত্রে পৃথিবীকে স্থির নির্দেশতন্ত্র বলিয়া ধরা হয়। যেমন চরম স্থিরতা বলিয়া কিছু নাই, তেমনি চরম গতিশীলতা বলিয়াও কিছু নাই, **সকল গতিই আপেক্ষিক।**

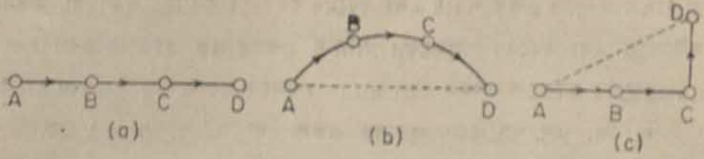
1.1a. গতির বিভিন্নতা :

গতি দুই প্রকার—(i) **চলনগতি** (translation) ও (ii) **ঘূর্ণনগতি** (rotation)। কোন বস্তু যখন কোন সরলরেখা-বরাবর চলিতে থাকে, তখন তাহার গতিকে বলা হয় চলনগতি বা সংক্ষেপে চলন। কোন বস্তু যদি নির্দিষ্ট কোন বিন্দু বা অক্ষের চতুর্দিকে ঘুরিতে থাকে, অর্থাৎ প্রতি মুহূর্তে গতির দিক পরিবর্তন করিয়া পুনরায় পূর্বেকার পথে ঘোরে, তবে তাহাকে ঘূর্ণনগতি বা সংক্ষেপে ঘূর্ণন বলে। যদি বস্তুটি ঐ নির্দিষ্ট অক্ষ বা বিন্দুর চারিদিকে এমনভাবে ঘোরে যে, বস্তুর সকল অবস্থানে ঐ নির্দিষ্ট অক্ষ বা বিন্দু হইতে বস্তুর দূরত্ব একই থাকে, তবে তাহাকে বিশুদ্ধ ঘূর্ণনগতি বলে। চলন ও ঘূর্ণনের সমন্বয়ে বস্তুর গতি জটিল হইতে পারে। সরলরৈখিক বা চক্রাকার ব্যতীত অন্য কোনরূপ বক্রপথে বস্তুর গতি জটিল গতির উদাহরণ। আবার বস্তুর গতি যত জটিলই হউক না কেন, তাহা সবসময় চলন ও ঘূর্ণনের সমন্বয়ে গঠিত।

1.2. গতি-সংক্রান্ত কয়েকটি রাশি :

(a) সরণ (Displacement) : **কোন বস্তু যদি একটি নির্দিষ্ট সময়ে ও একটি নির্দিষ্ট দিকে তাহার অবস্থানের পরিবর্তন করে, তাহা হইলে ঐ নির্দিষ্ট দিকে অতিক্রান্ত দূরত্বকে ঐ সময়ে বস্তুর সরণ বলা হয়।**

বস্তুর গতিপথ সরল বা বক্র, যাহাই হউক না কেন, ঐ সময়ের প্রারম্ভে বস্তুর অবস্থান ও সময়ের শেষে বস্তুর অবস্থান একটি সরলরেখা দ্বারা যোগ করিলে যে দৈর্ঘ্য পাওয়া যায় তাহাই ঐ বস্তুর সরণের পরিমাণ।



চিত্র 1.1

উপরের চিত্রগুলিতে (চিত্র 1.1) কোন বস্তুর প্রাথমিক অবস্থান A বিন্দু এবং একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তে অবস্থান D বিন্দু দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে। বিভিন্ন প্রকার গতির ফলে বস্তুর গতি প্রত্যেক ক্ষেত্রে বিভিন্ন। কিন্তু প্রত্যেক ক্ষেত্রেই A এবং D বিন্দুর সংযোজক সরলরেখা সরণের পরিমাণ নির্দেশ করিবে।

সরণের দিক ও মান—দুইই আছে। দিক ও মান নির্দিষ্ট করিয়া না বলিলে সরণ সম্পর্কে সম্পূর্ণ বলা হয় না। ফলে, ইহা একটি ভেক্টর রাশি।

(b) দ্রুতি (Speed): **একক সময়ে বস্তু যতটা পথ অতিক্রম করে তাহাকে দ্রুতি বলে।** এই পথ সরল বা বক্র উভয়ই হইতে পারে। এখানে বস্তুর গতির দিক জানার প্রয়োজন নাই, শুধু মান জানা থাকিলেই চলিবে। ইহা একটি স্কেলার রাশি।

(c) বেগ (Velocity): **সময়ের সহিত কোন নির্দিষ্ট দিকে সরণের হারকে বেগ বলে।** যেহেতু, বেগের মান ও দিক্—দুইই আছে, ফলে বেগ একটি ভেক্টর রাশি। গতিশীল বস্তু সমান সমান সময়ে একই দিকে সমান সমান পথ অতিক্রম করিলে বস্তুর বেগকে সমবেগ (uniform velocity) বলে। অন্যথায় বেগ অসম।

একটি বস্তুকণা ABCD বক্রপথে চলিতেছে। বস্তুটি সমান দ্রুতি লইয়া চলিলেও বিভিন্ন বিন্দুতে বেগ বিভিন্ন। A, B, C ও D চারিটি বিন্দুতে স্পর্শক টানিয়া গতির অভিমুখ নির্দেশ করা হইয়াছে। বিভিন্ন বিন্দুতে দিক্ পরিবর্তন হেতু গতিও বদলাইয়া গিয়াছে।



চিত্র 1.2

সি. জি. এস্. ও এফ. পি. এস্.-পদ্ধতিতে বেগের একক যথাক্রমে সে. মি./সেকেণ্ড ও ফুট/সেকেণ্ড।

(d) **ত্বরণ ও মন্দন** (Acceleration and Retardation) **:** বেগ অসম হইলে বস্তুকণা নির্দিষ্ট সময়ের অবকাশে একই দূরত্ব অতিক্রম করে না। সময়ের পরিবর্তনের সহিত ইহার বেগ বাড়িতে বা কমিতে পারে। এই বৃদ্ধি বা হ্রাস যদি প্রতি একক সময়ে একই ধরনের হয় তবে কণাটির ত্বরণ বা মন্দন ঘটিতেছে বলা হইবে। **সময়ের সহিত বেগবৃদ্ধির হারকে ত্বরণ এবং বেগহ্রাসের হারকে মন্দন বলা হয়।** মন্দনকে ঋণাত্মক ত্বরণও বলা যায়।

সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে ত্বরণের একক সে. মি./সেকেণ্ড^2 এবং এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে ফুট/সেকেণ্ড^2।

প্রতি একক সময়ে বেগ বৃদ্ধি বা হ্রাসের হার একই হইলে তাহাকে যথাক্রমে সুষম বা সমত্বরণ ও সমমন্দন বলা হয়।

(e) **ভরবেগ** (Momentum) **:** একটি M ভরের বস্তুকে V বেগে ছুড়িতে যে বলের প্রয়োজন, 2M ভরের বস্তুকে V বেগে ছুড়িতে তাহার দ্বিগুণ বলের প্রয়োজন। **ভর ও বেগের সমন্বয়ে বস্তুতে যে ধর্মের উৎপত্তি হয় তাহাকে ভরবেগ বলে। বস্তুর ভর ও বেগের গুণফলের দ্বারা ভরবেগের পরিমাপ করা হয়।** বস্তুর ভর M এবং বেগ V হইলে, ভরবেগ$=M \times V$.

বেগের দিক্ আছে, কাজেই বেগের দিকেই ভরবেগেরও দিক্ আছে।

সি. জি. এস্.-পদ্ধতিতে ভরবেগের একক গ্রাম-সে. মি./সেকেণ্ড ও এফ. পি. এস্.-পদ্ধতিতে পাউণ্ড-ফুট/সেকেণ্ড।

1.3. স্থিতিবিদ্যা-সম্পর্কিত সমীকরণ (Kinematical equations) **:**

কণা বস্তুর বেগ, অতিক্রান্ত দূরত্ব, ত্বরণ, সময় ইত্যাদি কয়েকটি সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। স্থিতিবিদ্যায় এই সমীকরণগুলি নিম্নে আলোচনা করা হইল।

(1) মনে করা যাক, কোন বস্তু v সুষমবেগ লইয়া t সময়ে s পথ অতিক্রম করিল। তাহা হইলে, সুষমবেগ $v=\frac{s}{t}$

বা, $s=vt$ ......(1)

(2) ধরা যাক, বস্তুটির প্রাথমিক বেগ u এবং উহা f সুষম ত্বরণসহ t সময় ধরিয়া চলিতেছে এবং t সময় অন্তে তাহার অন্তিম বেগ v হইয়াছে।

অতএব, t সময়ে বস্তুটির বেগের পরিবর্তন$=v-u$

∴ একক সময়ে " " " $=\frac{v-u}{t}$

$\therefore$ সুষমত্বরণের সংজ্ঞা অনুযায়ী, $f=\frac{v-u}{t}$

বা, $ft=v-u$

বা, $\mathbf{v=u+ft}$ ..... (2)

উপরের সমীকরণে চারিটি রাশির যে-কোন তিনটি জানিলেই চতুর্থটি বাহির করা যায়।

উদাহরণ : সেকেণ্ডে 25 সে. মি. প্রাথমিক বেগ যদি 10 সেকেণ্ড পর ঘণ্টায় 3·6 কিলোমিটারে পরিণত হয়, তবে উহার ত্বরণ কত ?

এখানে, প্রাথমিক বেগ $u=25$ সে. মি./সেকেণ্ড

সময় $t=10$ সেকেণ্ড

অন্তিম বেগ $v=3{\cdot}6$ কি.মি./ঘণ্টা

$=\frac{3{\cdot}6\times1000\times100}{60\times60}$ সে.মি./সেকেণ্ড

ত্বরণ, $f=$? $=100$ সে.মি./সেকেণ্ড

$v=u+ft$ সমীকরণে মানগুলি বসাইলে,

$100=25+f.10$

বা, $10f=100-25=75$

বা, $f=\frac{75}{10}=7{\cdot}5$

$\therefore$ বস্তুটির ত্বরণ 7·5 সে. মি./সেকেণ্ড^2 [উঃ]

(3) সুষমত্বরণে চলমান একটি বস্তুকণার প্রাথমিক বেগ u, সুষমত্বরণ f এবং t সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্ব S হইলে, S-এর মান নিম্নলিখিতভাবে বাহির করা যায়।

ধরা যাক, t সময় অন্তে বস্তুটির অন্তিম বেগ v.

$\therefore$ প্রাথমিক ও অন্তিম বেগের গড়$=\frac{u+v}{2}$

গতি শুরুর 1 সেকেণ্ডের মাথায় বেগ$=u+f$

এবং v বেগ হইবার 1 সেকেণ্ড আগে বেগ$=v-f$.

$\therefore$ শুরু হইবার 1 সেকেণ্ড পর ও নির্দিষ্ট সময় শেষ হইবার 1 সেকেণ্ড আগের বেগের গড়$=\frac{u+f+v-f}{2}=\frac{u+v}{2}$.

একইভাবে, শুরুর 2 সেকেণ্ড পরে ও শেষের 2 সেকেণ্ড আগের বেগের

গড় $=\frac{u+2f+v-2f}{2}=\frac{u+v}{2}$

এইভাবে, শুরু ও শেষ হইতে সমান দূরবর্তী প্রত্যেক দুইটি মুহূর্তের গড় বেগ $\frac{u+v}{2}$ এবং আমরা মনে করিতে পারি যে, বস্তুটি যেন এই গড় গতিবেগ লইয়া t সময় ধরিয়া চলিয়াছে।

সুতরাং, (1) নং সমীকরণ হইতে লিখিতে পারি,

$$S=\frac{u+v}{2}.t$$

কিন্তু $v=u+ft$

$$\therefore \quad S=\tfrac{1}{2}(u+u+ft)\,t$$
$$=\tfrac{1}{2}(2u+ft)\,t$$
$$=ut+\tfrac{1}{2}ft^2$$
$$\therefore \quad S=ut+\tfrac{1}{2}ft^2 \quad \cdots\cdots \quad (3)$$

এইক্ষেত্রে বস্তুর প্রাথমিক বেগ $u=0$ (শূন্য) হইলে, অর্থাৎ স্থির অবস্থা হইতে সুষমত্বরণে গতির ক্ষেত্রে $S=\frac{1}{2}ft^2$

(**4**) (2) নং এবং (3) নং সমীকরণ হইতে আমরা প্রাথমিক বেগ, অন্তিম বেগ, সময় ও ত্বরণের সম্পর্ক বাহির করিতে পারি।

এখন, $v=u+ft \quad \cdots \quad (a)$

এবং $S=ut+\frac{1}{2}ft^2 \quad \cdots \quad (b)$

$$\therefore \quad v^2=(u+ft)^2$$
$$=u^2+2uft+f^2t^2$$
$$=u^2+2f(ut+\tfrac{1}{2}ft^2)$$
$$=u^2+2f.s \quad \cdots \quad [\text{ (b) হইতে S-এর মান বসাইয়া }]$$

অর্থাৎ, $\mathbf{v^2=u^2+2fs.} \quad \cdots \quad (4)$

স্পষ্টতঃই, প্রাথমিক বেগ $u=0$ (শূন্য) হইলে,

$$v^2=2fs.$$

(4) n-তম সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব নির্ণয় :—

n-তম সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব S_n = n সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব – $(n-1)$ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব

$=(un+\frac{1}{2}fn^2)-\{u(n-1)+\frac{1}{2}f(n-1)^2\}\cdots(3)$ নং সমীকরণের সাহায্যে

$=un+\frac{1}{2}fn^2-u(n-1)-\frac{1}{2}f(n-1)^2$

$=un-u(n-1)+\frac{1}{2}f\{n^2-(n-1)^2\}$

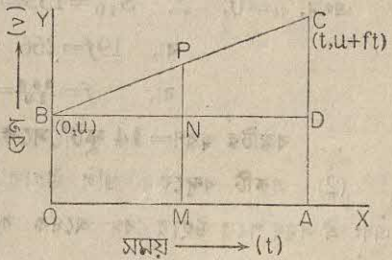
$=u(n-n+1)+\frac{1}{2}f(n+n-1)(n-n+1)$

$=u+\frac{1}{2}(2n-1)f$

$$\therefore \quad S_n=u+\tfrac{1}{2}(2n-1)f \qquad \ldots\ldots \qquad (5)$$

1.3a. লেখচিত্রের সাহায্যে $S=ut+\frac{1}{2}ft^2$ সমীকরণের প্রমাণ :

লেখচিত্রের X-অক্ষ বরাবর সময় এবং Y-অক্ষ বরাবর বেগ নির্দেশ করা হইয়াছে। বস্তুটির প্রাথমিক বেগ u, $(t=0)$ B বিন্দু কর্তৃক ইহার অবস্থান সূচিত করা হইয়াছে। বস্তুটি সুষমত্বরণ f লইয়া চলিলে t সময় শেষে বস্তুটির বেগ হইবে $u+ft$, চিত্রে C বিন্দু বস্তুটির এই অবস্থান নির্দেশ করিতেছে। সুতরাং, BC রেখাই সময়-বেগ লেখ। C বিন্দু হইতে OX রেখার উপর CA লম্ব। OBCA ক্ষেত্র অতিক্রান্ত সরণকে নির্দেশ করিতেছে।



চিত্র 1.3

এখানে, OA=t এবং AC=$u+ft$ (অন্তিম বেগ)

অনুরূপভাবে, যে-কোন সময়ে, ধরা যাক, t' সেকেণ্ডে (=OM) লম্ব MP বেগ সূচিত করে। B বিন্দু হইতে অঙ্কিত OA রেখার সমান্তরাল BD রেখা যেন MP-কে N বিন্দুতে এবং AC-কে D বিন্দুতে ছেদ করে। বস্তুটি সমবেগ লইয়া চলিলে t সময়ে সময়-বেগ লেখ হইবে BND রেখা। সেক্ষেত্রে অতিক্রান্ত দূরত্ব $(=ut)$, OB×BD অর্থাৎ OBDA ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল হইতে পাওয়া যাইত। সুষমত্বরণের ক্ষেত্রে বস্তুটি যেন BC রেখা বরাবর গিয়াছে, সুতরাং, OBCA ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল অতিক্রান্ত দূরত্বের সমান।

এখন, CD=AC−AD=AC−OB

=t সময়ের বেগবৃদ্ধি

=ft

$\therefore$ মোট অতিক্রান্ত দূরত্ব = OBCA ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল

$= OBDA$ আয়তক্ষেত্র $+ BDC$ ত্রিভুজ

$= OB \times OA + \frac{1}{2} BD \times CD$

$= ut + \frac{1}{2} t.ft$

$= ut + \frac{1}{2} ft^2.$

উদাহরণ (1) স্থিরাবস্থা হইতে সমত্বরণসহ চলমান একটি বস্তু যদি দশম সেকেণ্ডে 133 ফুট অতিক্রম করে, তবে ইহার ত্বরণ বাহির কর।

উঃ। এখানে $S_{10} = u + \frac{1}{2}(2 \times 10 - 1)f$ ···(5নং সমীকরণ হইতে)

$n = 10$, S_{10} = দশম সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ, u = প্রাথমিক বেগ, f = ত্বরণ = ?

এখন, $u = 0$, $\therefore \; S_{10} = 133 = 0 + \frac{1}{2}(20 - 1)f$

বা, $19f = 266$

বা, $f = \frac{266}{19} = 14$

$\therefore$ **বস্তুটির ত্বরণ = 14 ফুট/সেকেণ্ড^2।**

(2) একটি বন্দুকের গুলি উহার লক্ষ্যভেদ করিয়া 3 ইঞ্চি প্রবেশ করে এবং ঐ সময় পরে উহার বেগ অর্ধেক কমিয়া যায়। গুলিটি আরও কতদূর অগ্রসর হইবে? [C.U., I.Sc.]

উঃ। প্রথমক্ষেত্রে, ধরা যাক, প্রাথমিক বেগ $= u$ $\therefore$ প্রান্তিক বেগ $= \frac{1}{2}u$

এবং মন্দন $= f$, সরণ $S = 3'' = \frac{1}{4}'$

$v^2 = u^2 - 2fs$ [f ঋণাত্মক, মন্দনের ক্ষেত্রে] হইতে লিখিতে পারা যায়,

$(\frac{1}{2}u)^2 = u^2 - 2.f.\frac{1}{4}$

বা, $\frac{f}{2} = \frac{3}{4}u^2$

বা, $f = \frac{3}{2}u^2$

দ্বিতীয়ক্ষেত্রে, প্রান্তিক বেগ $v = 0$, প্রাথমিক বেগ $= \frac{u}{2}$ এবং নির্ণেয় সরণ মনে করি S'

$\therefore \; v^2 = u^2 - 2fS$ সমীকরণ হইতে,

$0 = \left(\frac{u}{2}\right)^2 - 2.\frac{3}{2}\, u^2.\, S'$

$\therefore \; 3u^2 S' = \frac{u^2}{4}$

বা, $S' = \frac{1}{12}$ ফুট $= 1$ ইঞ্চি

গুলিটি আরও 1 ইঞ্চি অগ্রসর হইবে। [উঃ]

(3) বেগ v সে.মি./সেকেণ্ড এবং অবস্থিতি x সে.মি.-এর সম্বন্ধ

$v = 12 + \frac{x}{4}$ হইলে, $x = 32$ সে.মি. দূরত্বে ত্বরণ নির্ণয় কর।

উঃ। এখানে x সে.মি. দূরত্বে বেগ $v_{32} = 12 + \frac{32}{4} = 20$ সে.মি./সেকেণ্ড

প্রাথমিক বেগ $u = 12 + \frac{0}{4}$ [$x = 0$ বসাইয়া]

$= 12$ সে.মি./সেকেণ্ড

$\therefore$ $v^2 = u^2 + 2fs$ সমীকরণ হইতে

$(20)^2 = (12)^2 + 2.f.32$ [$s = x$]

বা, $400 = 144 + 64f$

বা, $64f = 256$

বা, $f = \frac{256}{64} = 4$ সে.মি./সেকেণ্ড^2

$\therefore$ নির্ণেয় ত্বরণ $= 4$ সে.মি./সেকেণ্ড^2। [উঃ]

প্রশ্নাবলী

1. স্থিতি ও গতি বলিতে কি বুঝ? এই প্রসঙ্গে নির্দেশতন্ত্রের প্রয়োজনীয়তা বল। সরণ, দ্রুতি, বেগ ও ত্বরণ—রাশিগুলি ব্যাখ্যা কর।

[What do you mean by rest and motion ? State the utility of reference frame in this connection. Explain the terms : displacement, speed, velocity and acceleration.]

2. স্থিতিবিদ্যা-সম্পর্কিত সমীকরণগুলি বাহির কর এবং উহারা কি নির্দেশ করে, তাহা বুঝাও।

[Deduce the kinematical equations and explain what they signify.]

3. সময়-বেগ লেখচিত্রের সাহায্যে $S = ut + \frac{1}{2}ft^2$ সমীকরণটি প্রমাণ কর।

[Prove the relation $S = ut + \frac{1}{2}ft^2$ with the help of Time-displacement graph.]

4. প্রাথমিক বেগ u এবং ত্বরণ f হইলে n-তম সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব বাহির কর।

[Find the distance described in the nth second when the initial velocity is u and acceleration is f.]

5. সমহার মন্দনে চলমান একটি রেলগাড়ির বেগ ঘণ্টায় 40 মাইল হইতে ঘণ্টায় 10 মাইলে পরিণত হয়। ঐ সময়ে উহা যদি 150 গজ অতিক্রম করে, তবে গাড়িটি থামিয়া যাওয়া পর্যন্ত আরও কতদূর অগ্রসর হইবে?

[The speed of a train is reduced from 40 miles an hour to 10 miles an hour while it travels a distance of 150 yds.; if its retardation be uniform, find how much further it will travel before coming to rest?] [Ans. 10 yds.]

6. সমত্বরণে চলমান একটি বস্তুকণা পঞ্চম সেকেণ্ডে 25 ফুট এবং সপ্তম সেকেণ্ডে 33 ফুট অতিক্রম করে। উহার প্রাথমিক বেগ ও ত্বরণ নির্ণয় কর।

[A particle, moving with uniform acceleration, passes over 25 ft. in the fifth second and 33 ft. in the seventh second of its motion. Find the initial velocity and acceleration.] [C. U., I. Sc.]

[Ans. 7′/sec, 4′/sec²]

7. একটি ট্রামগাড়ি স্থির অবস্থা হইতে সুষমত্বরণ f লইয়া চলিতে শুরু করিল। একই সময়ে, ট্রামটিকে ধরিবার জন্য x দূরত্ব হইতে এক ব্যক্তি সমবেগ v-তে ট্রামের পিছনে ছুটিতে শুরু করিল। দেখাও যে, ব্যক্তিটি গাড়িটিকে ধরিতে পারিবে, যদি

$$v^2 \geqslant 2fx$$

8. v বেগে গমনরত একটি গুলি বালুকার মধ্যে x সে.মি. গমন করিলে বেগ শূন্য হয়। গুলিটি যদি বালুকার y সে.মি. $(y<x)$ প্রবেশ করে, তবে বেগ হয় u.

দেখাও যে, $\dfrac{u}{v}=\sqrt{\dfrac{x-y}{x}}$.

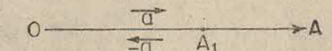
দ্বিতীয় অধ্যায়
স্কেলার ও ভেক্টর
(Scalars and Vectors)

2.1. স্কেলার ও ভেক্টররাশি (Scalar and Vector quantities) :

আগেই বলা হইয়াছে যে, ভৌতরাশিগুলিকে সাধারণতঃ দুই ভাগে ভাগ করা হয়—**ভেক্টর ও স্কেলার**। ভেক্টর রাশির পরিমাণ ও দিক বা দিশা —উভয়ই থাকে। আর শুধু পরিমাণজ্ঞাপক ভৌতরাশিগুলিকে স্কেলার বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ, সরণ, বল, বেগ, ত্বরণ ইত্যাদি ভেক্টররাশি, আর ভর, সময়, তাপমাত্রা ইত্যাদি স্কেলার রাশি।

2.2. ভেক্টরের রূপায়ণ (Representation of Vector) :

স্কেলাররাশির সহিত ভেক্টররাশির পার্থক্য করিতে যাহাতে কোন অসুবিধা না হয় এজন্য লিখিবার সময় ভেক্টর রাশির মাথায় সাধারণতঃ একটি তীরচিহ্ন ব্যবহার করা হয়। মোটা হরফে অনেক সময় ভেক্টররাশি ছাপান হয়। সকল প্রকার ভেক্টরকে খণ্ড সরলরেখার সাহায্যে সহজে রূপায়িত করা যায়। ভেক্টরের তিনটি বিচার্য বস্তু—প্রয়োগবিন্দু, মান ও দিক আছে।



চিত্র 2.1

চিত্রে (2.1) $\overrightarrow{OA}$ সরলরেখাখণ্ড একটি ভেক্টররাশি $\vec{a}$-কে রূপায়িত করে। O বিন্দুটি প্রয়োগবিন্দু। OA-এর মাথায় তীরচিহ্নটির দ্বারা বুঝান হইয়াছে যে, O বিন্দু হইতে A অভিমুখে টানা সরলরেখার দিকই $\vec{a}$ ভেক্টরের দিক। সুতরাং, $\overrightarrow{OA}=\vec{a}$

আবার, $\overrightarrow{AO}$ ভেক্টর $\overrightarrow{OA}$ ভেক্টরের বিপরীত দিকবিশিষ্ট, কিন্তু উভয়ের মান সমান। সুতরাং, $\overrightarrow{AO}=-\overrightarrow{OA}=-\vec{a}$

$\vec{a}$ ভেক্টরের পরিমাণ বুঝাইবার জন্য সাধারণতঃ $|\vec{a}|$ অথবা 'a' প্রতীকচিহ্ন ব্যবহার করা হয়। OA রেখা হইতে OA_1 পরিমাণ একক দৈর্ঘ্য কাটিয়া লওয়া হইয়াছে। কাজেই, $\overrightarrow{OA_1}$ ভেক্টরের পরিমাণ এক একক এবং দিক $\vec{a}$ ভেক্টরের অনুরূপ। $\overrightarrow{OA_1}$ ভেক্টরকে $\vec{a}$ ভেক্টরের দিকবিশিষ্ট একক

ভেক্টর (unit vector) বলা হয়। একক ভেক্টর বুঝাইতে প্রতীকের মাথায় ছাউনি চিহ্ন (∧) ব্যবহার করা হয়। সুতরাং, সংজ্ঞা অনুযায়ী, $\overrightarrow{OA_1}=\hat{a}$

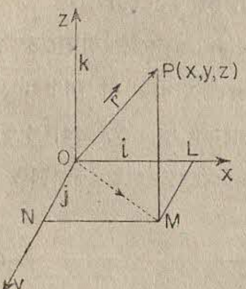
$$\text{এবং } \overrightarrow{OA}=\overrightarrow{a}=|\overrightarrow{a}|\,\hat{a}$$

$$\text{অর্থাৎ, } \hat{a}=\frac{\overrightarrow{a}}{|\overrightarrow{a}|}$$

দেখা যাইতেছে, কোন ভেক্টরকে তাহার পরিমাণ দ্বারা ভাগ করিলে সেই ভেক্টরের দিকবিশিষ্ট একক ভেক্টর পাওয়া যায়।

কার্তেসীয় অক্ষতন্ত্রে ভেক্টরের রূপায়ণ (Representation of Vector in Cartesian Co-ordinates) **:**

চিত্রে (2.2) OX, OY, OZ তিনটি পরস্পর লম্ব সরলরেখা একটি কার্তেসীয় অক্ষতন্ত্র গঠন করিয়াছে। এই অক্ষতন্ত্রে P বিন্দুর স্থানাঙ্ক (x, y, z) এবং ইহার অবস্থিতি ভেক্টর $\overrightarrow{OP}=\overrightarrow{r}$ এবং $\overrightarrow{i}, \overrightarrow{j}, \overrightarrow{k}$ ভেক্টরগুলি x, y, z অক্ষ-বরাবর একক ভেক্টর সূচিত করিতেছে। এখন, অবস্থিতি ভেক্টর $\overrightarrow{r}$-কে কার্তেসীয় স্থানাঙ্ক (x, y, z) দ্বারা প্রকাশ করা সম্ভব। এজন্য, P বিন্দু হইতে xy সমতলের উপর PM লম্ব টানা হইল।



চিত্র 2.2

M বিন্দু হইতে x-অক্ষ এবং Y-অক্ষ-এর উপর লম্বদ্বয় যথাক্রমে ML এবং MN.

$$\therefore\ OL=x,\ ON=y \text{ এবং } MP=z$$

এবং ভেক্টরের নিয়ম অনুযায়ী,

$$\overrightarrow{OL}=x\overrightarrow{i},\ \overrightarrow{ON}=y\overrightarrow{j} \text{ and } \overrightarrow{MP}=z\overrightarrow{k}$$

$$\text{এবং } \overrightarrow{OP}=\overrightarrow{r}=x\overrightarrow{i}+y\overrightarrow{j}+z\overrightarrow{k}$$

[পরের অনুচ্ছেদে, ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্র অনুযায়ী ইহা দেখান হইয়াছে]

2.3. ভেক্টরের লব্ধি ও উপাংশ (Resultant and Components of Vector) **:**

আমরা জানি এক জাতীয় দুই বা ততোধিক রাশির যোগ-বিয়োগ সকল সময়ই সম্ভব। সুতরাং, দুই বা ততোধিক ভেক্টরের যোগ-বিয়োগ অবশ্যই সম্ভব হইবে।

তবে ভেক্টরের দিক থাকায় সাধারণ রাশির ন্যায় একই প্রক্রিয়ায় ভেক্টরের যোগ-বিয়োগ সব সময় চলে না।

দুই বা ততোধিক ভেক্টরের যোগে যদি একটিমাত্র ভেক্টর উৎপন্ন হয়, তবে তাহাকে প্রথমোক্ত ভেক্টরগুলির **লব্ধি** বলে। আবার, লব্ধি ভেক্টরের উপাদান হিসাবে প্রথমোক্ত ভেক্টরগুলিকে **উপাংশ** বলা হয়।

ভেক্টরের যোগ প্রক্রিয়া আলোচনার পর বেগ, ত্বরণ ইত্যাদি ভেক্টরের ক্ষেত্রে লব্ধি ও উপাংশ আলোচনা করা হইবে।

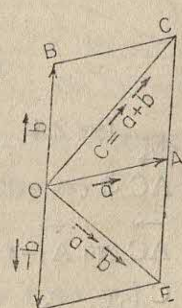
2.4. ভেক্টরের যোগ (Addition of Vector) :

দুইটি ভেক্টরের যোগফল **সামান্তরিক সূত্র** অনুযায়ী নির্ণীত হয়। **দুইটি সমবিন্দু ও ভিন্নরেখ ভেক্টর যদি উহাদের প্রয়োগবিন্দু হইতে অঙ্কিত একটি সামান্তরিকের সন্নিহিত দুই বাহু দ্বারা দিকে ও পরিমাণে সূচিত হয়, তবে সামান্তরিকটির উক্ত প্রয়োগবিন্দু হইতে অঙ্কিত কর্ণ দ্বারা ভেক্টর দুইটির লব্ধি দিকে ও মানে সূচিত হইবে।** চিত্রে (2.3) ভেক্টর $\vec{a}$-কে $\overrightarrow{OA}$ বাহু এবং ভেক্টর $\vec{b}$-কে $\overrightarrow{OB}$ দ্বারা রূপায়িত করা হইয়াছে। OA এবং OB-কে সন্নিহিত বাহু ধরিয়া OACB সামান্তরিক অঙ্কন করা হইয়াছে। সামান্তরিক সূত্র অনুযায়ী $\vec{a}$ এবং $\vec{b}$ ভেক্টরের যোগফল সামান্তরিকটির কর্ণ $\overrightarrow{OC}$ $(\vec{c})$ ভেক্টরের সমান হইবে।

অর্থাৎ, $\vec{c}=\vec{a}+\vec{b}$ ......(1)

আবার, BC বাহু OA বাহুর সমান ও সমান্তরাল বলিয়া $\overrightarrow{BC}=\vec{a}$

সুতরাং, $\overrightarrow{OB}+\overrightarrow{BC}=\vec{b}+\vec{a}=\vec{c}$ ...(2)



চিত্র 2.3

এই নিয়মটিকে **ভেক্টরের ত্রিভুজ নিয়ম** বলা হয়।

(1) এবং (2) হইতে লেখা যায় $\vec{a}+\vec{b}=\vec{b}+\vec{a}$

ইহাকে ভেক্টরযোগের **বিনিময়-নিয়ম** বলে। অন্যদিকে বর্ধিত BO রেখা হইতে যদি OB-র সমান করিয়া OD অংশ কাটিয়া লওয়া হয় তবে, $\overrightarrow{OD}=-\overrightarrow{OB}=-\vec{b}$

সামান্তরিক EDOA হইতে লিখিতে পারি

$$\vec{OE}=\vec{OA}+\vec{OD}$$

অর্থাৎ, $\vec{OE}=\vec{a}-\vec{b}$

এক্ষেত্রে, $\vec{a}$ যদি $\vec{b}$-এর সমান হয়, তবে $\vec{OE}$-এর মান শূন্য হইবে। এই ভেক্টরকে তখন **শূন্য ভেক্টর** (Zero Vector) বলা হয়।

চিত্র 2·2 হইতে ভেক্টর যোগের সামান্তরিক সূত্রানুযায়ী লেখা যায়,

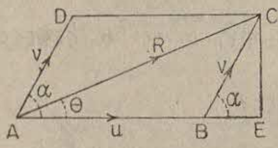
$$\vec{OP}=\vec{OM}+\vec{MP}=(\vec{OL}+\vec{ON})+\vec{MP} \quad [\because \text{ OLMN একটি সামান্তরিক }]$$

$$=x\vec{i}+y\vec{j}+z\vec{k}$$

$$\therefore \quad \vec{OP}\equiv\vec{r}=x\vec{i}+y\vec{j}+z\vec{k}$$

2.5. পরস্পরের সহিত নির্দিষ্ট কোণে ক্রিয়াশীল দুইটি বেগের লব্ধি নির্ণয় (To find the resultant of two velocities acting at given angle with each other) :

চিত্রে (2.4) $\vec{AB}$ এবং $\vec{AD}$ যথাক্রমে u এবং v বেগকে মান ও দিকে নির্দেশ করিতেছে। α এই দুই বেগের মধ্যবর্তী কোণ। u এবং v বেগের লব্ধির দিক্ ও মান নির্ণয় করিতে হইবে।



চিত্র 2.4

ABCD সামান্তরিকটি পূর্ণ করা হইল। এখন, ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্র অনুসারে কর্ণ $\vec{AC}$ ঐ বেগ দুইটির লব্ধি (R)-কে দিকে ও মানে সূচিত করিবে।

$\vec{AC}$ যেন $\vec{AB}$-র সহিত θ কোণে নত।

C বিন্দু হইতে বর্ধিত AB-র উপর CE লম্ব টানা হইল। তাহা হইলে,

(1) $AC^2=AE^2+CE^2$

$$=(AB+BE)^2+CE^2$$

$$=AB^2+BE^2+2AB.BE+CE^2$$

$$=AB^2+BC^2+2AB.BE \quad [\because BE^2+CE^2=BC^2]$$

আবার, $\angle CBE=\angle BAD=\alpha$

$$\therefore \quad \cos\alpha=\frac{BE}{BC}$$

বা, $BE = BC \cos\alpha$

$= AD \cos\alpha \quad [\because BC = AD]$

$\therefore$ $AC^2 = AB^2 + BC^2 + 2AB.BE$ হইতে পাই,

$$R^2 = u^2 + v^2 + 2uv \cos\alpha \quad \cdots \quad (1)$$

(2) $\tan\theta = \tan\angle CAE$

$$= \frac{CE}{AE} = \frac{BC.\sin\alpha}{AB + BE}$$

$$= \frac{v \sin\alpha}{u + v\cos\alpha}$$

$$\therefore \quad \theta = \tan^{-1}\frac{v \sin\alpha}{u + v\cos\alpha} \quad \cdots \quad (2)$$

অনুসিদ্ধান্ত (a) $\alpha = 0^\circ$ হইলে,

$$R^2 = u^2 + v^2 + 2uv \cos 0^\circ$$

$$= u^2 + v^2 + 2uv \qquad [\cos 0^\circ = 1]$$

$\therefore$ $R = u + v$, অর্থাৎ সমরেখ ও সমমুখী দুইটি বেগের লব্ধি তাহাদের সমষ্টিমাত্র।

(b) $\alpha = 180^\circ$ হইলে,

$$R^2 = u^2 + v^2 + 2uv \cos 180^\circ$$

$$= u^2 + v^2 - 2uv \qquad [\because \cos 180^\circ = -1]$$

$\therefore$ $R = u - v$ এবং $\theta = 0^\circ$ $\qquad [\because \sin 180^\circ = 0]$

অর্থাৎ, সমরেখ ও বিপরীতমুখী দুইটি বেগের লব্ধি তাহাদের বিয়োগফলের সমান।

(c) $\alpha = 90^\circ$ হইলে,

$$R^2 = u^2 + v^2 + 2uv \cos 90^\circ$$

$$= u^2 + v^2 + 2uv \times 0 \qquad [\because \cos 90^\circ = 0]$$

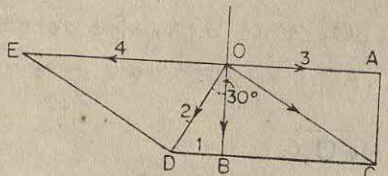
$$= u^2 + v^2$$

$$\therefore \quad R = \sqrt{u^2 + v^2} \text{ এবং } \tan\theta = \frac{v \sin 90^\circ}{u + v \cos 90^\circ} = \frac{v}{u}$$

এখানে u এবং v-র মান যথাক্রমে 3 একক ও 4 একক ধরিলে ভেক্টর যোগের নিয়মে R-এর মান $(= \sqrt{3^2 + 4^2}) = 5$ হইবে, কিন্তু সাধারণ যোগের নিয়মে $(= 3 + 4)$ যোগফল 7 হইবে।

(2) ঘণ্টায় 3 মাইল বেগে চলমান একজন লোকের নিকট বৃষ্টি খাড়াভাবে পড়িতেছে বলিয়া মনে হইতেছে। লোকটি গতিবেগ ঘণ্টায় 4 মাইল করিলে গতিপথের উল্লম্বরেখার সহিত বৃষ্টি 30° কোণ করিয়া পড়ে। বৃষ্টিপতনের প্রকৃত বেগ ও দিক্ নির্ণয় কর। [H. S. 1964]

উঃ। $\vec{OA}$ লোকটির প্রথম ক্ষেত্রের বেগ (=3 মাইল/ঘ.) এবং $\vec{OB}$ বৃষ্টির আপাতবেগ সূচিত করিলে OACB সামান্তরিক হইতে $\vec{OC}$ বৃষ্টির প্রকৃত বেগ নির্দেশ করে।



চিত্র 2.9

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, লোকটির গতিবেগ বাড়িয়া যখন 4 মাইল/ঘ. হয়, তখন উহার সমান ও বিপরীত বেগ যেন $\vec{OE}$।

এখন $\vec{OE}$ এবং $\vec{OC}$-এর লব্ধি $\vec{OD}$ বৃষ্টির বর্তমান বেগ সূচিত করিবে।

$\therefore$ প্রশ্নানুসারে, $\angle DOB=30°$

এখন, $BD=CD-CB$

$=4-3=1$

$\therefore \quad OD=Cosec\ 30°=2,$

$\therefore$ OBD ত্রিভুজ হইতে,

$OB^2=OD^2-BD^2$

$=4-1=3.$

$\therefore \quad OC^2=OB^2+OA^2$

$=3+9=12$

$\therefore \quad OC=\sqrt{12}=2\sqrt{3}$

$\therefore$ বৃষ্টিপতনের প্রকৃত বেগ ঘণ্টায় $2\sqrt{3}$ মাইল। উহা অনুভূমিক রেখার সহিত $\angle COA$ কোণ করিয়াছে। $Cos\angle COA=\frac{3}{2\sqrt{3}}=\frac{\sqrt{3}}{2}$

$=Cos\ 30°$

$\therefore \quad \angle COA=30°.$

$\therefore$ বৃষ্টিপতনের দিক লোকটির গতিপথের সহিত $(180°-30°=)$**150°** (ধনাত্মক দিকে) কোণ করিয়াছে।

প্রশ্নাবলী

1. ভেক্টররাশি কাহাকে বলে? কিভাবে ভেক্টরকে রূপায়িত করা হয়? 'একক ভেক্টর' বলিতে কি বুঝায়?

[What are Vectors? How a Vector is represented? What is ment by 'unit vector'?]

2. ভেক্টরযোগের সামান্তরিক সূত্রটি বল ও ব্যাখ্যা কর। পরস্পরের সহিত নির্দিষ্ট কোণে ক্রিয়াশীল দুইটি বেগের লব্ধি কিভাবে বাহির করা হয়?

[State and explain the Parallelogram theorem of Vector addition. How the resultant of two velocities acting at a given angle with each other is found out?]

3. ভেক্টরের বিশ্লেষ বলিতে কি বুঝ? আপেক্ষিক বেগের সংজ্ঞা লিখ। পরস্পরের সহিত নির্দিষ্ট কোণে চলমান দুইটি বস্তুকণার আপেক্ষিক বেগ কিভাবে বাহির করিবে?

[What do you understand by resolution of Vectors? Define relative velocity. How do you find the relative velocity of two particles moving at an angle with each other?]

4. এক ব্যক্তি t সময়ে b প্রস্থসম্পন্ন স্রোতহীন একটি নদী পার হয়। ঐ নদীতে যখন স্রোত থাকে তখন উহা পার হইতে তাহার t' সময় লাগে। যদি $t>t'$ হয়, তবে নদীর স্রোতবেগ নির্ণয় কর। [S. F. 1964]

[A man crosses a river of breadth b in time t, when there is no current and in time t' $(t>t')$ when there is current. Find the velocity of the current.

[Ans. $\frac{b}{t}\sqrt{t^2-t'^2}$

5. একটি কণার একটি নির্দিষ্ট কোণে সন্নিহিত u_1 ও u_2 দুইটি বেগ আছে এবং উহাদের লব্ধি u_1। যদি u_1-কে দ্বিগুণ করা হয়, তবে দেখাও যে, নূতন লব্ধি u_2 বেগের সমকোণে হয়। [H. S. 1961]

[A point has two velocities u_1, and u_2 inclined at an angle and their resultant is u_1. Show that if u_1 be doubled, the new resultant is at right angles to u_2]

6. পশ্চিম হইতে পূর্বে ঘণ্টায় $1\frac{1}{2}$ মাইল বেগে ধাবমান একটি নদীর উপর স্রোতের তুলনায় দক্ষিণমুখে একটি নৌকা ঘণ্টায় $\frac{3}{2}\sqrt{3}$ মাইল বেগে চলিতেছে। পাড়ের উপর স্রোতের সমান্তরাল রেখায় একটি ঘোড়ার গাড়ী ঘণ্টায় 6 মাইল বেগে পশ্চিমমুখে যাইতেছে। ঘোড়ার গাড়ীর আরোহীর নিকট নৌকার আপাতবেগ কত মনে হইবে? [S.F. 1942]

[A boat is sailing on a $\frac{3}{2}\sqrt{3}$ m. p. h. towards south across a river flowing at $1\frac{1}{2}$ m.p.h. towards east. A hackney carriage runs along the bank parallel to the current of the river west at 6 m. p. h. What will be the apparent velocity of the boat to a passenger of the carriage ?]

[Ans. $3\sqrt{7}$ m.p.h. south to east at angle α, where $\alpha = Sin^{-1}\frac{\sqrt{21}}{14}$]

7. পশ্চিমদিকে চলমান এক ব্যক্তির নিকট মনে হইতেছে যে, বায়ু উত্তর-পশ্চিম দিক হইতে বহিতেছে। কিন্তু যখন সে পূর্বদিকে একই বেগে চলিতে থাকে তখন মনে হয় বায়ু উত্তর-পূর্ব দিক হইতে আসিতেছে। বাতাস ও ব্যক্তির বেগের তুলনা কর। [C.U., I.Sc.]

[To a man walking due west, the wind appears to come from the north-west ; but when he walks due east at the same rate it appears to come from the north-east. Compare the velocities of the wind and the man.]

[Ans. Velocities are equal, wind blows towards south.]

তৃতীয় অধ্যায়

বল ও গতি (Force and Motion)

3.1. নিউটনের গতিসূত্রাবলী (Newton's laws of motion) :

বস্তুর গতিসম্পর্কীয় বিভিন্ন তথ্য জানিতে হইলে নিউটনের তিনটি গতিসূত্র সম্পর্কে জ্ঞান থাকা অত্যন্ত প্রয়োজন। বস্তুর বেগবৃদ্ধি বা হ্রাসের কারণ, গতি বা গতিহীনতার সহিত বস্তুর সম্পর্ক, ইত্যাদি নিউটনের গতিসূত্রে আলোচনা করা হইয়াছে। এই তিনটি সূত্রকে গতিবিদ্যার মূল ভিত্তি বলা যাইতে পারে।

প্রথম সূত্র : বাহির হইতে প্রযুক্ত বল (force) দ্বারা অবস্থার পরিবর্তন ঘটাইতে বাধ্য না করিলে স্থিতিশীল বস্তু চিরকাল স্থিতিশীল এবং গতিশীল বস্তু সমবেগে সরলরৈখিক পথে চিরকাল চলমান থাকিবে।

[Every body continues in its state of rest or of uniform motion in a straight line unless in so far as it be complled by an externally impressed force to change that state.]

দ্বিতীয় সূত্র : ভরবেগের (momentum) পরিবর্তনের হার বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক এবং বল যেদিকে ক্রিয়া করে ভরবেগের পরিবর্তনও সেইদিকে ঘটিয়া থাকে।

[The rate of change of momentum of a body is proportinal to the impressed force and takes place in the direction in which the force acts.]

তৃতীয় সূত্র : প্রত্যেক ক্রিয়ারই সমান ও বিপরীতমুখী ক্রিয়া-(প্রতিক্রিয়া) আছে।

[To every action there in an aqual and opposite reaction.]

3.2. বস্তুর জাড্য (Inertia of a body) :

প্রথম গতিসূত্র হইতে বস্তুর একটি বিশেষ ধর্মের কথা জানা যায়। এই ধর্মটি হইল বস্তু আপনা হইতে কোন কিছু করিতে পারে না বা করে না। স্থিতিশীল বস্তুর ধর্মই চিরকাল স্থির থাকা এবং গতিশীল বস্তুর ধর্ম চিরকাল সমবেগে সরলরেখা বরাবর চলিতে থাকা। পদার্থের এই ধর্মকে **জাড্য** বা **জড়তা** বলে। স্থির থাকার ধর্মকে **স্থিতিজাড্য** আর গতিশীল থাকার ধর্মকে

গতিজাড্য (inertia of rest and inertia of motion) বলে। পদার্থের এই ধর্মের বিরুদ্ধে কাজ করিতে গেলে পদার্থ স্বভাবতঃই বাধা দেয়। যে বস্তুর ভর বেশী, দেখা গিয়াছে তাহার ক্ষেত্রে বাধার পরিমাণও বেশী। আঙ্কিক হিসাবে জাড্য ভরের সমানুপাতিক।

স্থিতিজাড্য বলিতে বোঝায় যে, কোন বস্তুকে একটি নির্দিষ্ট জায়গায় স্থিরভাবে রাখিয়া দিলে উহা চিরকাল একই জায়গায় অবস্থান করিবে। তেমনি গতিজাড্য বলিতে বোঝায়, কোন বস্তুকে গড়াইয়া দিলে উহা সমান বেগ লইয়া সরলপথে চলিতে থাকিবে। অবশ্য একটি বলকে মাটিতে গড়াইয়া দিলে দেখা যায় যে, কিছুদূর গিয়া উহা থামিয়া গিয়াছে। এক্ষেত্রে গতিজাড্য নাই বলিয়া মনে হইতে পারে। মাটির সহিত ঘর্ষণজনিত বাধার জন্য এরূপ ঘটে। বাতাসের বাধা, মাটির সহিত ঘর্ষণ ইত্যাদি কোনপ্রকার বাধা না পাইলে বলটি চিরকাল একই বেগ লইয়া চলিতে থাকিত।

প্রাত্যহিক জীবনে এবং প্রকৃতিতে স্থিতি ও গতিজাড্যের অনেক সাধারণ দৃষ্টান্ত দেখা যায়। স্থির গাড়ীর মধ্যে কোন কিছু না ধরিয়া দাঁড়াইয়া থাকার সময় হঠাৎ যদি গাড়ীটি চলিতে শুরু করে, তবে আরোহী পিছনদিকে হেলিয়া পড়ে। ইহার কারণ, আরোহীর পা গাড়ীর সংস্পর্শে থাকায় উহা গাড়ীর সহিত গতিলাভ করে, কিন্তু দেহের ঊর্ধ্বাংশ স্থিতিজাড্যের দরুণ একই জায়গায় থাকিতে চায়। ফলে, দেহের বিভিন্ন অংশে গতির অসমতার জন্য আরোহী হেলিয়া পড়ে। একই কারণে গাড়ী হঠাৎ ব্রেক কষিলে আরোহীরা সামনের দিকে ঝুঁকিয়া পড়ে। এক্ষেত্রে আরোহীর দেহের নিম্নাংশ গাড়ীর সহিত স্থির হয়, ঊর্ধ্বাঙ্গের গতিজাড্যের দরুণ এইরূপ ঘটে। হঠাৎ চলন্ত গাড়ী হইতে লাফ দিয়া নামিলেও অনুরূপ ঘটনা ঘটে।

ক্যারম খেলার সময় দেখা যায়, দুইটি ঘুঁটি উপর-নীচে থাকিলে স্ট্রাইকার দিয়া তলারটিকে জোরে আঘাত করিলে উহা চলিয়া যায়, কিন্তু উপরের ঘুঁটিটি সেই জায়গাতেই থাকে। ইহা স্থিতিজাড্যের জন্য ঘটে।

3.3. বল ও ইহার পরিমাপ (Force and its measurement) :

প্রথম সূত্রবলে, বাহির হইতে বল প্রয়োগ করিয়া বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন করিতে হয়। সচল বস্তুকে অচল ও স্থির বস্তুকে গতিশীল করিতে হইলে বল প্রয়োগ করিতে হয়। সুতরাং **বাহির হইতে যাহা প্রয়োগ করিয়া বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন করিতে চেষ্টা করা হয় বা পরিবর্তন সাধন করা হয়, তাহাকে বল বলে।** একটি ঢিল ছুড়িবার সময় ঢিলটিকে ধাক্কা

দিয়া ছুড়িয়া দেওয়া হয়। বিজ্ঞানের ভাষায় বলা হয়, ঢিলটির উপর বল প্রয়োগ করা হইয়াছে। বল একটি ভেক্টররাশি।

বস্তুর উপর বল প্রযুক্ত হইলে বস্তুর গতি পরিবর্তিত হয়। গতিশীল বস্তুর ক্ষেত্রে গতির অভিমুখে বল প্রযুক্ত হইলে গতি বাড়িয়া যায়, আর বিপরীতদিকে প্রযুক্ত হইলে গতি মন্দীভূত হয়। বেগের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটিলে বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তন ঘটে। **ভর ও বেগের সমন্বয়ে কোন গতিশীল বস্তুতে যে ধর্মের উৎপত্তি হয় তাহাকে ভরবেগ বলে।**

বস্তুবিশেষের ভর ও বেগের গুণফলকে উহার ভরবেগ বলা হয়। যদি কোন বস্তুর ভর 'm' ও বেগ 'v' হয় তাহা হইলে ভরবেগ$=m \times v$ ইহা একটি ভেক্টররাশি। সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে ইহার একক গ্রাম-সেন্টিমিটার/সেকেণ্ড এবং এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে ইহার একক ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড।

একই আয়তনবিশিষ্ট একটি কাঠের টুকরা ও একটি লোহার টুকরা একই বেগে চলিলে লোহার টুকরার ভরবেগ অপেক্ষাকৃত বেশী হইবে। কারণ, লোহার টুকরার ভর সমআয়তন কাঠের টুকরার ভর অপেক্ষা বেশী। দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী, এই ভরবেগের পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক।

মনে করা যাক 'm' ভরের কোন চলমান বস্তুর প্রাথমিক বেগ 'u' এবং 'P' বল প্রযুক্ত হইবার 't' সেকেণ্ড পরে বেগ 'v'.

সুতরাং t সেকেণ্ডে ভরবেগের পরিবর্তন$=mv-mu$

$$\therefore \text{ ভরবেগের পরিবর্তনের হার} = \frac{mv-mu}{t}$$

$$= m\frac{(v-u)}{t}$$

$$= m.f \qquad [\because v=u+ft]$$

এখানে 'f' সমত্বরণ বা মন্দন।

দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী $P \propto mf$

বা, $P=k.mf$ $\qquad [k=\text{ধ্রুবক}]$

একক ভরের উপর প্রযুক্ত যে বল একক ত্বরণ সৃষ্টি করে তাহাকে যদি একক বলরূপে ধরা যায়, অর্থাৎ যদি $m=1$, $f=1$, $P=1$ হয়, তবে $k=1$ হইবে।

একক বলের এইরূপ সংজ্ঞা নির্ধারণ করিলে আমরা লিখিতে পারি :

$P=mf$ অর্থাৎ **বল=ভর×ত্বরণ, ইহাকে বলের পরিমাপসূচক সমীকরণ বলে।**

3.4. বলের একক (Unit of force) **:**

(a) সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে বলের একক **ডাইন** (dyne)। ইহা এক গ্রাম বস্তুর উপর ক্রিয়া করিয়া এক সে.মি./সেকেণ্ড² (1 cm/sec²) ত্বরণ সৃষ্টি করে।

(b) এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে বলের একক **পাউণ্ডাল** (poundal)। ইহা এক পাউণ্ড বস্তুর উপর ক্রিয়া করিয়া এক ফুট/সেকেণ্ড² (1 ft/sec²) ত্বরণ সৃষ্টি করে।

(c) এম. কে. এস.-পদ্ধতিতে বলের একক **নিউটন** (Newton)। ইহা এক কিলোগ্রাম বস্তুর উপর ক্রিয়া করিয়া এক মিটার/সেকেণ্ড² (1m./sec²) ত্বরণ সৃষ্টি করে।

উপরোক্ত তিনটি একক সকল অবস্থাতেই অপরিবর্তিত থাকে। এজন্য উহাদের **পরম একক** (absolute unit) বলা হয়।

ডাইন ও পাউণ্ডালের পারস্পরিক সম্পর্ক :

$$\begin{aligned}1 \text{ Poundal} &= 1 \text{ Pound} \times 1 \text{ ft/sec}^2\\ &= 453{\cdot}6 \text{ gm} \times 30{\cdot}48 \text{ cm/sec}^2\\ &= 453{\cdot}6 \times 30{\cdot}48 \text{ dynes}\\ &= 13{,}826 \text{ dynes (প্রায়)}\end{aligned}$$

নিউটন ও ডাইনের পারস্পরিক সম্পর্ক :

$$\begin{aligned}1 \text{ Newton} &= 1 \text{ kilogm} \times 1 \text{ metre/sec}^2\\ &= 1000 \text{ gm} \times 100 \text{ cm/sec}^2\\ &= 10^5 \text{ dynes.}\end{aligned}$$

অভিকর্ষীয় সূত্রের উপর প্রতিষ্ঠিত বলের অভিকর্ষীয় এককগুলি (Gravitational units of force) হইল :

(i) সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে **গ্র্যাম-ভার** (gm.-weight)। এক গ্র্যাম ভরের বস্তুকে যে বলের দ্বারা পৃথিবী কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে তাহাকে গ্র্যাম-ভার বলে।

(ii) এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে **পাউণ্ড-ভার** (pound-weight)। এক পাউণ্ড ভরের বস্তুকে যে বলের দ্বারা পৃথিবী কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে তাহাকে পাউণ্ড-ভার বলে।

সাধারণতঃ, এই এককগুলির উল্লেখের সময় 'এক গ্রাম' ও 'এক পাউণ্ড', এইরূপেই বলা হয়। ভার কথাটির উল্লেখ থাকে না।

1 গ্রাম ভার $= g$ ডাইন,	1 পাউণ্ডভার $= g$ পাউণ্ডাল
$=981$ ডাইন	$=32$ পাউণ্ডাল

3.5. ঘাত ও ঘাতজ বল (Impulse and Impulsive force) :

বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের ঘাত বলিতে বল ও যে সময় ব্যাপিয়া বল বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল থাকে তাহাদের গুণফলকে বুঝায়।

'm' ভরবিশিষ্ট একটি বস্তুর উপর যদি 'P' বল 't' সময় ব্যাপিয়া সক্রিয় থাকে তবে P বলের ঘাত হইবে Pt.

অর্থাৎ ঘাত, $I = Pt$. ঘাতকে সাধারণতঃ I দ্বারা সূচিত করা হয়।

এখন যদি বলের প্রাথমিক গতিবেগ 'u' এবং 't' সময় পরে বেগ 'v' হয় তবে, আমরা জানি $v = u + ft$, এখানে f উদ্ভূত সমত্বরণ।

বা, $ft = v - u$.

$\therefore \; Pt = mft$

$= m(v - u)$

$= mv - mu =$ ভরবেগের পরিবর্তন

$\therefore \; \mathbf{I = mv - mu}$

অর্থাৎ **ঘাত = ভরবেগের পরিবর্তন**

ঘাতজ বল :

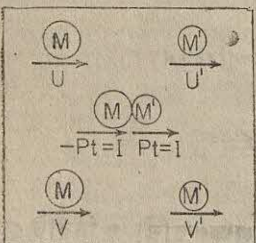
একটি বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল অতি অল্পক্ষণস্থায়ী ও বিরাট যে বল নির্দিষ্ট পরিমাণ ঘাত উৎপন্ন করে অথচ উহার ক্ষণিকের ক্রিয়ায় বস্তুটির সরণ উপেক্ষণীয় পরিমাণ হয়, সেই বলকে ঘাতজ বল বলে। এইরূপ বলের ঘাতই ঘাতজ বলের পরিমাণ সূচিত করে।

ধরা যাক, কোন বস্তুর উপর একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ বল ক্রিয়া করিতে শুরু করিল। বস্তুটির প্রাথমিক অবস্থান এবং বেগ জানা থাকিলে বস্তুটির উপর বলের প্রয়োগে কি ফলাফল ঘটিবে তাহা সহজেই বিভিন্ন সমীকরণের সাহায্যে বাহির করা যায়। আমরা জানি, বলের প্রয়োগে বস্তুবিশেষের সরণ ঘটে এবং বেগেরও পরিবর্তন হয়। ঘাতজ বলের ক্ষেত্রে, বল এত অল্পক্ষণব্যাপিয়া সক্রিয় থাকে যে, সেই নগণ্য সময়ে বস্তুর সামান্যতম সরণকে উপেক্ষা করা যায়। সুতরাং বস্তুর বেগের বা ভরবেগের পরিবর্তনই ঘাতজ বলের ক্ষেত্রে একমাত্র ফলাফল। আবার, ভরবেগের পরিবর্তন জানা গেলে নির্দিষ্ট সময়ে বস্তুর গতিপ্রকৃতি ও অবস্থান সম্পূর্ণরূপে বাহির করা যায়। এজন্য ঘাতদ্বারাই ঘাতজ বলকে সূচিত করা হয়।

ক্রিকেট বলকে ব্যাট দিয়া প্রচণ্ড জোরে আঘাত করিলে যে বল নিমেষকালের জন্ত কার্যকরী হয় তাহা ঘাতজ বলের উদাহরণ। $P=mf$ সমীকরণের সাহায্যে এই বলের পরিমাপ করা এক্ষেত্রে সম্ভব নয়। কারণ, ঘাতজ বলের ক্ষেত্রে উৎপন্ন ত্বরণের পরিমাপ করা প্রায় অসম্ভব। ব্যাট ও বলের ক্ষণিকের সংঘাতকালীন বলের সরণ হয় না বলিলেই চলে। ক্রিকেট বলটি যে মুহূর্তে বেগে চলিতে শুরু করে, সেই মুহূর্তের পূর্বেই ঘাতজ বলের ক্রিয়া শেষ হইয়া যায়। সুতরাং ত্বরণ পরিমাপ করা কার্যত অসম্ভব।

3.6. সরলরেখায় ভরবেগ সংরক্ষণতত্ত্ব (Conservation of linear momentum) :

মনে করা যাক, একই সরলরেখায় M এবং M′ ভরবিশিষ্ট দুইটি বস্তু যথাক্রমে U ও U′ বেগে চলিতেছে। বস্তু দুইটি পরস্পরকে আঘাত করিবার পর উহাদের বেগ পরিবর্তিত হইয়া যথাক্রমে যেন V এবং V′ হইল [চিত্র 3.1]



চিত্র 3.1

নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুযায়ী, আঘাত ও প্রত্যাঘাত সমান ও বিপরীতমুখী হইবে। প্রথম বস্তুটি যদি P বল লইয়া দ্বিতীয় বস্তুকে t সময় ব্যাপিয়া আঘাত করে তবে দ্বিতীয় বস্তু কর্তৃক প্রত্যাঘাতজনিত বলকে $-P$ বলা যায় এবং প্রত্যাঘাতও একই সময় t ব্যাপিয়া কার্যকরী থাকে।

এখন, আঘাতজনিত বলের ঘাত$=Pt$

এবং প্রত্যাঘাত জনিত বলের ঘাত$=-Pt$

যেহেতু, ঘাত দুইটি সমান ও বিপরীত,

$\therefore\ Pt=-Pt$

বা, $M(U-V)=-M'(U'-V')$

বা, $MU-MV=-M'U'+M'V'$

বা, $MU+M'V'=MV+M'V'$

কিন্তু $MU+M'V'=$সংঘাতের পূর্বে বস্তু দুইটির ভরবেগের সমষ্টি এবং $MV+M'V'=$সংঘাতের পরে বস্তু দুইটির ভরবেগের সমষ্টি। দেখা যাইতেছে সংঘাতের পূর্বে এবং পরে একই সরলরেখায় বস্তু দুইটির ভরবেগের

সমষ্টি সমান ও অপরিবর্তিত আছে। দুয়ের অধিক যে-কোন সসীম-সংখ্যক বস্তুর ক্ষেত্রেও এই তত্ত্ব কার্যকরী হয়।

সুতরাং, সকল প্রকার বাহ্য বলের প্রভাব হইতে মুক্ত একই সরল-রেখায় ধাবমান দুই বা দুয়ের অধিক বস্তু যদি কেবলমাত্র পরস্পরের আঘাত ও প্রত্যাঘাতজনিত বলের অধীন হয় তবে সেই রেখায় বস্তুগুলির ভরবেগের সমষ্টি সর্বদা অপরিবর্তিত বা নিত্য থাকে। ইহাই সরলরেখায় ভরবেগ সংরক্ষণতত্ত্ব।

ঘাতজ বলের কয়েকটি উদাহরণ :

(1) **বন্দুক ও গুলি** (gun and shot) **:** বন্দুকের ঘোড়া টিপিলে নলের ভিতর বারুদের বিস্ফোরণে যে প্রচণ্ড চাপ উৎপন্ন হয় তাহা গুলিকে সজোরে সামনের দিকে ঠেলিয়া দেয়। ফলে গুলিও বন্দুকের উপর পিছন-দিকে সমান পরিমাণ ঠেলা দেয়। বন্দুকের ভরবেগের মোট পরিবর্তন, গুলির ভরবেগের মোট পরিবর্তনের সমান ও বিপরীত।

ধরা যাক, বন্দুকের ভর M এবং গুলির ভর m ও বন্দুকের পশ্চাদ্‌গতি V এবং গুলির সম্মুখগতি v, তবে ভরবেগ সংরক্ষণতত্ত্ব অনুযায়ী

$$MU+M'U'=MV+M'V'$$

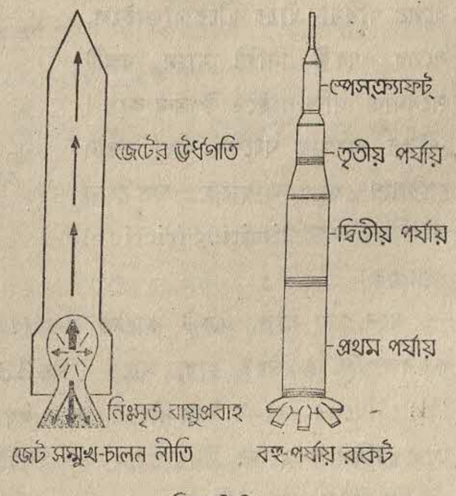
এখানে, $M'=m, V'=v, U=0, U'=0$

$$\therefore \quad 0=Mv+mv$$

$$\therefore \quad -Mv=mv.$$

(2) **রকেট ও জেট বিমান** (Rockets and Jets) **:**

রকেট বা জেট বিমানের গতি উহাদের পিছনদিকে সবেগে নিঃসৃত গ্যাস বা বায়ুস্রোতের বিপরীতমুখী ধাক্কার ফল। রকেট বা জেটের পিছনের ছিদ্রপথ দিয়া যখন প্রবলবেগে ও নিরবচ্ছিন্নভাবে গ্যাস নিঃসৃত হয়, তখন নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুযায়ী, তাহার প্রতিক্রিয়ায় রকেট বা জেট সামনের দিকে আগাইয়া চলে। এই নীতিকে



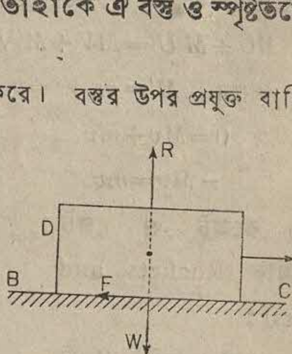
চিত্র 3.2

জেট-সম্মুখচালন (jet propulsion) বলে। আধুনিক বহুপর্ব (multi-stage) রকেটে গতিদায়ক বস্তু হিসাবে কেরোসিন ইত্যাদি জ্বালানি ও তরল অক্সিজেন বাহিত হয়। উৎক্ষেপের বিভিন্ন পর্বে রকেটের বিভিন্ন অংশ প্রয়োজনানুযায়ী স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থায় মূল দেহ হইতে বিচ্ছিন্ন করা হয়। জেট বিমানের ক্ষেত্রে গতিদায়ক বস্তু হইল বায়ু। বিমানের চারিপাশ হইতে আকৃষ্ট বায়ু বিমানের ভিতর দিয়া দ্রুত নিঃসৃত হয়—ফলে বিমানটি ধাক্কায় সামনের দিকে ধাবিত হয়।

3.7. ঘর্ষণ (Friction) :

কোন কঠিন বস্তুর তল সম্পূর্ণ মসৃণ নয়। অন্যভাবে বলা যায়, যে-কোন তলের, যত সামান্যই হউক না কেন, একটু কর্কশতা আছেই। ফলে কোন বস্তুকে যে-কোন তলের উপর দিয়া গড়াইয়া দিলে বা টানিয়া লইলে গতির পক্ষে বাধার সৃষ্টি হয়। বস্তুতলের অমসৃণতা বা কর্কশতা-জনিত এইরূপ বাধাকে ঘর্ষণ বলা হয়। সুতরাং বলা যায়, **কোন বস্তুকে একটি তলের উপর দিয়া চালিত করিতে চাহিলে যে বাধা বস্তুর গতিকে রোধ করিতে চেষ্টা করে বা রোধ করে, তাহাকে ঐ বস্তু ও স্পৃষ্টতলের মধ্যে ঘর্ষণ বলা হয়।**

ঘর্ষণ বস্তুর গতির বিপরীতে ক্রিয়া করে। বস্তুর উপর প্রযুক্ত বাহ্যিক বলের পরিমাণ ধীরে ধীরে বাড়াইলে, বলের একটি নির্দিষ্ট মানে বস্তুটি সবেমাত্র গতি পাইতে উপক্রম করে। এইরূপ অবস্থায় ঘর্ষণের বাধা যতটা পরিমাণ হয় তাহাকে **ঘর্ষণের প্রান্তিক মান** (limiting friction) বলা হয়।



চিত্র 3.3

মনে করা যাক, একটি কাঠের ব্লক (D) একটি সমতল ও অনুভূমিক টেবিল BC-র উপর রাখা আছে (চিত্র 3.3)। এই অবস্থায় ব্লকের ভার (W) টেবিলের তলের উপর নীচের দিকে লম্বভাবে কাজ করে, এবং ইহার ফলে টেবিল ও ব্লকের উপর সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া (R) দেয়। এই দুই বল অর্থাৎ ভার W ও তাহার অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া R সমান ও বিপরীত বলিয়া ব্লকটি টেবিলের উপর সাম্য অবস্থায় অবস্থান করে। এখন মনে করি, BC তলের সমান্তরালে একটি খুব সামান্য বল (P) প্রয়োগ করা হইল।

ব্লকটি যদি এখনও স্থির অবস্থায় থাকে তবে এই বলের বিপরীতে একটি বল (**F**) ক্রিয়া করে এবং ইহা ব্লক ও টেবিলের তলের মধ্যেকার ঘর্ষণবল বা ঘর্ষণ। কার্যত দেখা যাইবে, P বলকে সামান্য পরিমাণে বাড়াইলে ব্লকটি গতিশীল হইতেছে না। P বলের মান যত বাড়ানো হইবে F বলের মান অর্থাৎ, ঘর্ষণবল সেই অনুপাতে বাড়িয়া যাইবে। সুতরাং ঘর্ষণবল একটি **আত্ম-নিয়ন্ত্রণকারী বল** (Self-adjusting force)। তবে এই আত্মনিয়ন্ত্রণ একটি নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত ঘটে। P বলের একটি নির্দিষ্ট সীমামান উপস্থিত হইলে দেখা যায় ব্লকটি সরিতে শুরু করে। সরিতে শুরু করার পূর্বমুহূর্তে ঘর্ষণের যে বল ক্রিয়াশীল ছিল তাহার মান সর্বাধিক। ইহাই **প্রান্তিক ঘর্ষণ**।

ব্লকটি যতক্ষণ পর্যন্ত স্থির থাকে ততক্ষণ পর্যন্ত যে ঘর্ষণবল সক্রিয় থাকে তাহাকে **স্থিত ঘর্ষণ** (Static friction) বলা হয়। ব্লকটি গতিশীল হইলে তখনও উহার উপর ঘর্ষণবল কাজ করে। ইহাকে **গতীয় ঘর্ষণ** (dynamic friction) বলে। পরীক্ষায় দেখা গিয়াছে যে, গতীয় ঘর্ষণের মান প্রান্তিক ঘর্ষণ অপেক্ষা কম। এই কারণে একটি স্থির বস্তুতে গতি সঞ্চারের জন্য স্পর্শক রেখায় নিম্নতম মানের যেটুকু বল লাগে—একবার গতি শুরু হইয়া গেলে সেই গতি অব্যাহত রাখিতে ঠিক ততটা বল লাগে না, সামান্য কম লাগে।

3.8. ঘর্ষণাঙ্ক (Co-efficient of friction) :

ঘর্ষণের সীমামানে ঘর্ষণবল সর্বাধিক, এবং এই সীমারেখায় ঘর্ষণবল F ও লম্ব প্রতিক্রিয়া R পরস্পরের সমানুপাতিক হয়।

অর্থাৎ, $F \propto R$, অথবা, $\frac{F}{R} = \mu$ (মিউ), [μ=ধ্রুবক]। এই ধ্রুবক μ-কে **ঘর্ষণ-গুণাঙ্ক** বা **ঘর্ষণাঙ্ক** বলা হয়। সংযোগকারী তলের বিভিন্নতার উপর এই ধ্রুবকের মান নির্ভর করে। যে-কোন দুই নির্দিষ্ট তলের ক্ষেত্রে ইহার মান সর্বদা 1 অপেক্ষা কম। কাঠের তলের উপর কাঠের স্থিত-ঘর্ষণের বেলায় ঘর্ষণাঙ্কের মান 0·3 হইতে 0·5-র মধ্যে থাকে। কাঠের তলের উপর ধাতুখণ্ডের স্থিত-ঘর্ষণের ক্ষেত্রে এই মান 0·2 হইতে 0·6-র মধ্যবর্তী।

3.9. ঘর্ষণের নিয়মাবলী (Laws of friction) :

দুইটি সংযোগকারী তলের মধ্যে ঘর্ষণ কতকগুলি সাধারণ নিয়ম মানিয়া চলে। বিজ্ঞানী এ. কুলম্ব (A. Coulomb) এবং এ. টি. মরিন্ (A. T. Morin) এই নিয়মাবলী বাহির করেন।

বলটির ভরবেগের পরিবর্তন$=m(v-u)$

$$=\frac{5}{16}\{40-(-60)\}$$

$$=\frac{5.100}{16} \text{ পাউণ্ড-ফুট/সেকেণ্ড}$$

ঘাতজ বল$=P.t$ $\left[\begin{array}{l} P=\text{বল} \\ t=\text{সংঘাতকাল} \end{array}\right]$

$$=P.\tfrac{1}{4}$$

আমরা জানি, ঘাত=ভরবেগের পরিবর্তন

$$\therefore\ P.\tfrac{1}{4}=\frac{5.100}{16}$$

$$\therefore\ P=\frac{5.100.4}{16} \text{ বা } \mathbf{125} \textbf{ পাউণ্ডাল}।$$

(3) 4 পাউণ্ডের একটি বস্তু একটি নততলের উপর সাম্য অবস্থায় আছে। ঘর্ষণ সীমান্ত-মানে পৌছিলে ও অনুভূমিক তলের সহিত নততলের নতি 30° হইলে, ঘর্ষণাঙ্ক বাহির কর। [C. U. I. Sc.]

উঃ। ঘর্ষণবল F এবং লম্ব প্রতিক্রিয়া R হইলে, সীমান্ত-ঘর্ষণের বেলায় $F=W \sin\theta$ এবং $R=W\cos\theta$

এখানে W=বস্তুর ভার

$$\therefore\ \text{ঘর্ষণাঙ্ক, } \mu=\frac{F}{R}=\frac{W\sin\theta}{W\cos\theta}=\tan 30° \qquad [\theta=30°]$$

$$=\frac{1}{\sqrt{3}}.$$

$$\therefore\ \mu=\frac{\mathbf{1}}{\sqrt{\mathbf{3}}}$$

প্রশ্নাবলী

1. নিউটনের গতিসূত্রগুলি লিখ। প্রথম দুইটি গতিসূত্র হইতে কিভাবে আমরা বলের সংজ্ঞা ও পরিমাণ পাই, তাহা বুঝাইয়া দাও।

[State Newton's laws of motion. Explain clearly how from the first two laws of motion we get definition and measurement of force.]

2. ভরবেগের সংজ্ঞা লিখ। সরলরেখায় ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্রটি বল এবং ব্যাখ্যা কর।

[Define momentum. State the law of conservation of linear momentum and explain it.]

3. ঘাত ও ঘাতজ বল কাহাকে বলে? দেখাও যে, ঘাত ভরবেগের পরিবর্তনের সমান। ঘাতজ বলের কয়েকটি উদাহরণ দাও।

[What are impulse and impulsive forces? Show that impulse is equal to the change of momentum. Give few examples of impulsive forces.]

4. ঘর্ষণ বলিতে কি বুঝ? স্থিত ঘর্ষণ ও গতীয় ঘর্ষণের মধ্যে পার্থক্য কি? ঘর্ষণের সূত্রগুলি বল। প্রান্তিক ঘর্ষণ কাহাকে বলে?

[What is meant by friction? What is the difference between static friction and kinetic friction? State the laws of friction. What is limiting friction?]

5. ঘর্ষণাঙ্ক কি? নততলের সাহায্যে ঘর্ষণাঙ্ক কিরূপে বাহির করিবে? প্রাত্যহিক জীবনে ঘর্ষণের ভূমিকা সংক্ষেপে বল।

[What is co-efficient of friction? How do you find out the co-efficient of friction with the help of an inclined plane? State briefly the role of friction in everyday life?]

6. 16 পাউণ্ড ভরের একটি বস্তুর উপর একটি বল 3 সেকেণ্ড ধরিয়া ক্রিয়া করে। পরের 3 সেকেণ্ডে বস্তুটি 81 ফুট যায়। বলের পরিমাণ কত?

[A force acts for 3 secs. on a mass of 16 lbs. and then ceases to act. During the next 3 secs. the boby describes 81 ft. What is the magnitude of the force ?]

[Ans. 144 Poundal]

7. কোন ক্রিকেট বলের ওজন $5\frac{1}{2}$ আউন্স, উহা 30 ফুট/সেকেণ্ড বেগে চলিতেছিল এবং $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ডে উহাকে থামাইয়া দেওয়া হইল। উহার উপর প্রযুক্ত বলের মান নির্ণয় কর। [H. S. 1963]

[A cricket ball, weighing $5\frac{1}{2}$ oz. and moving with a speed of 30 ft/sec. is brought to rest in $\frac{1}{5}$ sec. Calculate the average stopping force employed. [Ans. 51·56 Poundal]

8. 25 গ্রাম-ভরের কোন স্থির বস্তুর উপর 100 ডাইন মানের বল 5 সেকেণ্ড ধরিয়া কাজ করিলে, উহার বেগ কত হইবে নির্ণয় কর। [H. S. 1961]

[A force of 100 dynes acts on a body of mass 25 gms. at rest for 5 secs. What would be the velocity then ?

[Ans. 20cm/sec]

9. 1 টন ভরের একটি বন্দুক হইতে 28 পাউণ্ড ভরের একটি গুলি 800 ফুট/সেকেণ্ডে বেগে ছোড়া হইল। বন্দুকটি বলপ্রয়োগে 5 ফুটের দূরত্বে থামান হইল। প্রযুক্ত বলের মান বাহির কর।

[A one-ton gun fires a shell of 28 lbs. with a speed of 800 ft/sec. The gun recoils and is brought to rest within a distance of 5 ft. Find the force applied to resist the gun.]

[Ans. 22400 Poundals]

10. 4 পাউণ্ড ভরবিশিষ্ট একটি গোলা যদি 10 ইঞ্চি পুরু একটি দেওয়াল ভেদ করিয়াই থামিয়া যায় এবং দেওয়ালের বাধা যদি 42 টন-ভরের সমান হয়, তবে গোলাটির বেগ কত ছিল ?

[Find the velocity of 4 lb. shot that will just penetrate through a wall 10 inches thick, the resistance beeing 42 tons.-wt.]

[Ans. 1120′/sec.]

11. অনুভূমিকের সহিত 60° কোণে নত একটি নততলের উপর 20 পাউণ্ডের একটি বস্তু ঘর্ষণের সীমামানে সাম্যাবস্থায় আছে। লম্ব প্রতিক্রিয়া ও ঘর্ষণবল বাহির কর। [C. U., I.Sc.]

[A body of mass 20 lbs. is in limiting equilibrium on a rough plane inclined to the horizontal at an angle 60°. Find the normal reaction of the plane and the force of friction.]

[Ans. 10 lbs., $10\sqrt{3}$ lbs.]

———

চতুর্থ অধ্যায়

স্থিতিবিদ্যা (Statics)

4.1 স্থিতিবিদ্যা কি ? (What is Statics ?) :

গতিবিদ্যায় বলের অস্তিত্ব ভরবেগের পরিবর্তন দ্বারা প্রকাশ পায় এবং ইহার দ্বারা বলের পরিমাপও করা হয়। নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী, বল থাকিলেই ত্বরণ উৎপন্ন হয়। কিন্তু ত্বরণ না থাকিলেই যে বলের অস্তিত্ব থাকিবে না একথা ঠিক নয়—কখনও কখনও বস্তু বলের অধীন হইলেও স্থিরাবস্থা হারায় না বা সমবেগে চলিতে পারে। এই শ্রেণীর বলকে সাধারণতঃ নিষ্ক্রিয় শ্রেণীর বল বলা হয়। বাধা, টান, ঘর্ষণ, ইত্যাদি বল এই শ্রেণীর অন্তর্গত। ইহারা গতি উৎপাদন করে না, পরন্তু গতিকে রোধ করিতে চেষ্টা করে। নিষ্ক্রিয় বলের ক্ষেত্রে ত্বরণ না থাকায় বল মাপিবার একমাত্র উপায় বস্তুর ভার নির্ণয়। স্থিতিবিদ্যায় মুখ্যত এই সমস্ত বিষয়ে আলোচনা করা হয়।

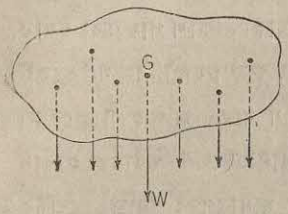
4.2 ভরকেন্দ্র (Centre of mass) :

কোন বস্তুর ভরকেন্দ্র বলিতে উহার তুলনায় এমন একটি নির্দিষ্ট বিন্দু বুঝায় যাহার মধ্য দিয়া অঙ্কিত যে-কোন সমতলের দুই পার্শ্বে বস্তুকণাসমূহের নিজ নিজ ভর ও উক্ত তল হইতে দূরত্বের গুণফলের সমষ্টি সমান হয়। সুষম অবয়ব ও আকারযুক্ত বস্তুসমূহের ভরকেন্দ্র তাহাদের জ্যামিতিক কেন্দ্রবিন্দুতে অবস্থিত। উদাহরণস্বরূপ, সুষম বৃত্ত বা গোলকের ভরকেন্দ্র উহাদের জ্যামিত্যিক কেন্দ্রবিন্দু। সুষম ত্রিভুজাকৃতি পাতের ভরকেন্দ্র মধ্যমাত্রয়ের ছেদবিন্দুতে অবস্থিত। একটি কথা এখানে মনে রাখিতে হইবে, ভরকেন্দ্র সর্বদা যে বস্তুর উপাদানের অভ্যন্তরেই থাকিবে, তাহা নহে। একটি ধাতুবলয় বা ধাতব আংটির কেন্দ্রই ভরকেন্দ্র, কিন্তু বিন্দুটি ধাতুর ভরের মধ্যস্থিত কোন বিন্দু নহে। সেজন্য, ভরকেন্দ্র বলার সময় বস্তুর তুলনায় একটি নির্দিষ্ট বিন্দু—এইভাবে বলা হয়।

4.3 ভারকেন্দ্র (Centre of Gravity or C.G.) : আমরা জানি, কোন বস্তুকে পৃথিবী যে বলে তাহার কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে, তাহাই বস্তুটির ভার। ভার একটি ভেক্টররাশি এবং উহা বস্তুর ভরের সমানুপাতিক।

কোন বস্তুকণার উপর পৃথিবীর আকর্ষণ যে রেখায় সক্রিয় হয়, তাহা আমরা উল্লম্ব-রেখা বলিয়া কল্পনা করি। পাশাপাশি দুইটি বস্তুকণার মধ্যেকার দূরত্ব পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে কণা দুইটির দূরত্বের তুলনায় নগণ্য বলিয়া

উহাদের উপর পৃথিবীর অভিকর্ষণজনিত বলের ক্রিয়ারেখাদ্বয় পরস্পর সমান্তরাল বলিয়া ধরিতে পারি। এইরূপে কোন বস্তুবিশেষের উপর অভিকর্ষজ বল অসংখ্য সমমুখী সমান্তরাল বলের লব্ধি বলিয়া ধরা যায়। বস্তুটির জ্যামিতিক আকার অক্ষুণ্ণ থাকিলে, ঐ বলশ্রেণীর লব্ধি অর্থাৎ বস্তুর ভার নিশ্চয়ই একটি বিন্দু দিয়া যাইবে। ঐ বিন্দুকেই **ভারকেন্দ্র** বলা হয়। চিত্রে (চিত্র 4.1) বস্তুটির ভারকেন্দ্র G দেখান হইয়াছে। বস্তুটির ভার (W), GW রেখা বরাবর সক্রিয়। সুতরাং ভারকেন্দ্রের সংজ্ঞা হিসাবে বলা যায়, **একটি বস্তুর আকার ও অবয়ব অক্ষুণ্ণ থাকিলে বস্তুর তুলনায় যে নির্দিষ্ট বিন্দু দিয়া উহার কণাসমূহের উপর ক্রিয়াশীল অভিকর্ষজ বলশ্রেণীর লব্ধি সর্বদা সক্রিয় থাকে, সেই নির্দিষ্ট বিন্দুকে বস্তুটির ভারকেন্দ্র বলে।**



চিত্র 4.1

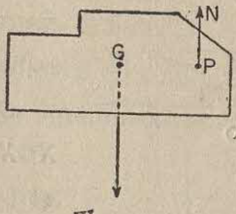
বস্তুর ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্র কার্যত একই। ভরকেন্দ্র যেমন বস্তুবিশেষের উপাদানের মধ্যে সর্বদা অবস্থিত নয়, ভারকেন্দ্রও তেমনি। এখানেও ধাতুবলয় বা ফাঁপা চোঙের ভারকেন্দ্রকে উদাহরণ হিসাবে বলা যায়। ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্র অভিন্ন হইবে কি না তাহা বস্তুর অবস্থানের উপর নির্ভর করে। বস্তুটিকে যদি পৃথিবীর অভিকর্ষজ বলের আওতার বাহিরে লওয়া যায়, তবে ভার বা ভরকেন্দ্র বলিতে যে বিন্দুটি পাওয়া যায় তাহা থাকিবেই, কিন্তু তখন উহাকে আর ভারকেন্দ্র বলা যাইবে না -শুধু ভরকেন্দ্র বলিতে হইবে। সুতরাং, সাধারণভাবে বলা যায় যে, অভিকর্ষজ বলের অধীন বস্তুর ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্র এক ও অভিন্ন।

প্রত্যেক বস্তুরই একটি ভরকেন্দ্র বা ভারকেন্দ্র থাকিবেই। নির্দিষ্ট আকারযুক্ত বস্তুর ভারকেন্দ্র অনন্য (unique), অর্থাৎ বস্তুর অবস্থানের সহিত উহা পরিবর্তিত হয় না।

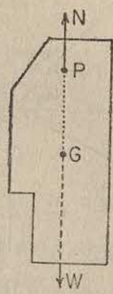
4.4. ভারকেন্দ্র সম্পর্কে একটি জ্ঞাতব্য তথ্য ঃ

খাড়াভাবে ঝুলাইয়া দেওয়া একটি বস্তুর ভারকেন্দ্র নিলম্বন (Point of suspension) বরাবর উল্লম্বরেখায় নিলম্বনের নীচে অবস্থান করে। [A body suspended vertically has its centre of gravity vertically below the point of suspension.]

পরীক্ষা ঃ একটি অনিয়মিত আকারের কার্ডবোর্ডকে একটি সরু শলাকার সাহায্যে P বিন্দুতে ঝুলান হইল (চিত্র 4.2a)। G বিন্দুটি যদি বোর্ডটির ভারকেন্দ্র হয়, তবে GW রেখা বরাবর বস্তুটির ভার (W) নিচের দিকে ক্রিয়াশীল; P বিন্দুতে শলাকার উপর প্রতিক্রিয়া PN বরাবর। এমতবস্থায় বোর্ডটি ঘুরিয়া (b) অবস্থানে এমনভাবে স্থস্থিত সাম্যে আসিবে যাহাতে G বিন্দু, নিলম্বন P-এর ঠিক খাড়াভাবে নীচে অবস্থান করে।



চিত্র 4.2a

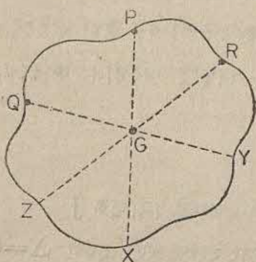


চিত্র 4.2b

উপরোক্ত তথ্যকে কাজে লাগাইয়া যে-কোন অনিয়তাকার বস্তুর ভারকেন্দ্র নির্ণয় করা যায়।

4.5. অনিয়তাকার বস্তুর ভারকেন্দ্র নির্ণয় (Determination of C.G. of an irregular shaped body) **:**

একটি অনিয়তাকার পাতলা কার্ডবোর্ড লইয়া উহার যে-কোন একটি বিন্দু, ধরা যাক P হইতে উহাকে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল (চিত্র 4.3)। ঐ বিন্দুতে একটি ওলন-দড়ি (Plumb-line) রাখিয়া দড়ি বরাবর বোর্ডের উপর একটি উল্লম্ব-রেখা PX আঁকা হইল। এবার অন্য একটি বিন্দু (Q) হইতে বোর্ডটিকে ঝুলাইয়া অনুরূপভাবে ওলন-দড়ির সাহায্যে QY উল্লম্ব-রেখা টানা হইল। PX এবং QY পরস্পর G বিন্দুতে ছেদ করিল, সুতরাং G বিন্দুই বোর্ডটির ভারকেন্দ্র। কারণ আমরা জানি, এই উভয় রেখার উপরই ভারকেন্দ্র অবস্থান করে। অনুরূপভাবে, তৃতীয় একটি বিন্দু (R) হইতে বোর্ডটিকে ঝুলাইয়া পরীক্ষা করিলে RZ রেখা G বিন্দুর ভিতর দিয়া যাইবে।

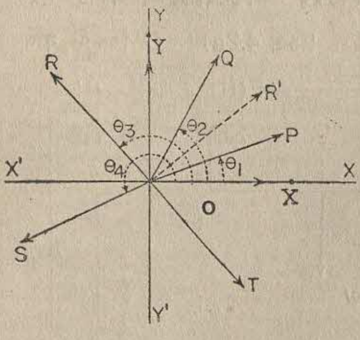


চিত্র 4.3

4.6. একই বিন্দুতে ক্রিয়াশীল বলসমূহের সাম্য-অবস্থার শর্ত (Condition of equilibrium of a system of forces acting at a point) **:**

একাধিক বলের অধীন হইয়াও কোন বস্তুর যদি স্থিরাবস্থা বজায় থাকে

তবে বলগুলিকে সাম্য অবস্থাপন্ন বলা হয়। চিত্রে (চিত্র 4.4) O বিন্দুতে P, Q, R, S, T ইত্যাদি কয়েকটি বল যেন ক্রিয়া করিতেছে। বলগুলির ঐ বিন্দুতে সাম্য-অবস্থায় থাকার প্রয়োজনীয় শর্ত বাহির করিতে হইবে।



চিত্র 4.4

O বিন্দুতে পরস্পর লম্বচ্ছেদী XOX' এবং YOY অক্ষদ্বয় অঙ্কন করা হইল। ধরা যাক, P, Q, R, S, T বলগুলি যেন OX রেখার সহিত যথাক্রমে θ_1, θ_2, θ_3, θ_4, θ_5 কোণ উৎপন্ন করে। সুতরাং OX-রেখা বরাবর বলগুলির উপাংশের বৈজিক সমষ্টি (algebric sum)

$$=P \cos \theta_1+Q \cos \theta_2+R \cos \theta_3+S \cos \theta_4+T \cos \theta_5$$
$$=X \text{ (মনে করি)}$$

অনুরূপভাবে, OY রেখা বরাবর বলগুলির উপাংশের

বৈজিক সমষ্টি$=P \sin \theta_1+Q \sin \theta_2+R \sin \theta_3+S \sin \theta_4+T \sin \theta_5$
$$=Y \text{ (মনে করি)}$$

X এবং Y পরস্পর সমকোণে নত বলিয়া উহাদের লব্ধি (R'),

$R'^2=X^2+Y^2$ সমীকরণ হইতে বাহির করা যাইবে।

এখন, P, Q, R, S, T ইত্যাদি বলগুলি সাম্য-অবস্থায় অবস্থান করিলে, উহাদের লব্ধি $R'=0$ হইবে।

এখন $R'=0$ হইলে, $X^2+Y^2=0$

$\therefore$ $X=0$ এবং $Y=0$ [কারণ X^2 এবং Y^2 উভয়েই ধনাত্মক]

সুতরাং বলগুলির সাম্য-অবস্থার প্রয়োজনীয় এবং যথেষ্ট শর্ত হইল $X=0$ এবং $Y=0$

সুতরাং, একই বিন্দুতে ক্রিয়াশীল বলসমূহের সাম্য-অবস্থার জন্য ঐ বিন্দুতে পরস্পরের লম্ব অভিমুখে যে কোন দুইদিকে বলগুলির উপাংশের বৈজিক সমষ্টিকে স্বতন্ত্রভাবে শূন্য হইতে হইবে।

প্রশ্নাবলী

1. বস্তুর ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্রের সংজ্ঞা দাও এবং ব্যাখ্যা কর। কোন অনিয়তাকার বস্তুর ভারকেন্দ্র কিরূপে নির্ণয় করিবে ?

[Define centre of mass and centre of gravity of a body and explain them. How do you find out the centre of gravity of an irregularly shaped body ?]

2. একই বিন্দুতে ক্রিয়াশীল কয়েকটি বলের সাম্যাবস্থার শর্ত বাহির কর।

[Find the condition of equilibrium of a system of forces meeting at a point.]

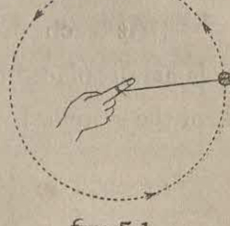
3. একটি সুষম ত্রিভুজাকৃতি পাতের শীর্ষবিন্দুত্রয়ের প্রত্যেকটিতে 5 কে. জি. করিয়া ওজন চাপান আছে। ত্রিভুজটির ভারকেন্দ্র বাহির কর।

[At each of the three vertices of a uniform triangular lamina is placed a mass weighing 5 kg. Find out the C. G. of the system.]

বৃত্তগতিবিদ্যা (Dynamics of circular motion)

5.1. বৃত্তগতি, কৌণিকবেগ ও ত্বরণ (Circular motion, angular velocity and acceleration) :

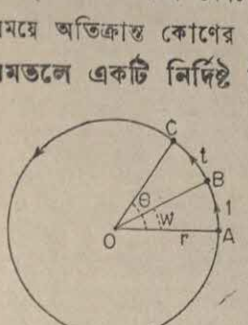
বলবিদ্যার প্রথম অধ্যায়েই বলা হইয়াছে, কোন বস্তুকণা যদি নির্দিষ্ট কোন বিন্দু বা অক্ষের চতুর্দিকে ঘুরিতে থাকে, অর্থাৎ প্রতি মুহূর্তে গতির দিক পরিবর্তন করিয়া পুনরায় পূর্বেকার পথে ঘুরিতে থাকে, তবে তাহাকে **ঘূর্ণনগতি** (rotational motion) বা সংক্ষেপে **ঘূর্ণন** (rotation) বলা হয়। যদি বস্তুটি ঐ নির্দিষ্ট অক্ষ বা বিন্দুর চারিদিকে এমনভাবে ঘোরে যে বস্তুর সকল অবস্থানে ঐ নির্দিষ্ট অক্ষ বা বিন্দু হইতে বস্তুর দূরত্ব একই থাকে, তবে তাহাকে বিশুদ্ধ ঘূর্ণনগতি বা **বৃত্তগতি** (circular motion) বলে, কারণ এই গতির ফলে যে বক্রপথের সৃষ্টি হয়, তাহা চক্রাকার বা বৃত্তাকার। একখণ্ড পাথরকে দড়ি দিয়া শক্তভাবে বাঁধিয়া যদি হাত দিয়া মাথার চারিপাশে ঘোরান হয় তবে দেখা যাইবে পাথরের টুকরাটি একটি চক্রাকার পথে ঘুরিতেছে (চিত্র 5.1)। চলন্ত গাড়ীর চাকার গতিও বৃত্তগতির একটি উদাহরণ।



চিত্র 5.1

যে অক্ষের চতুর্দিকে বস্তু বৃত্তগতি সম্পন্ন করে তাহাকে **ঘূর্ণাক্ষ** (axis of rotation) বলা হয়।

বৃত্তগতির ক্ষেত্রে বেগকে কৌণিক বেগ বলা হয়, কারণ এখানে একক সময়ে অতিক্রান্ত কোণের পরিমাপের দ্বারা বেগ নিরূপণ করা হয়। **একটি সমতলে একটি নির্দিষ্ট বিন্দুর চতুর্দিকে ঘূর্ণমান একটি বস্তুকণার কৌণিক বেগ বলিতে একক সময়ের ব্যবধানে কণার দুই অবস্থানবিন্দুর সহিত নির্দিষ্ট স্থির বিন্দুর সংযোজক রেখাদ্বয়ের অন্তর্গত কোণের পরিমাণকে বুঝায়।** চিত্রে (চিত্র 5.2) একটি বস্তুকণা O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া r-ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে সঞ্চরমান এবং 1 সেকেণ্ড-এ উহা A-অবস্থান হইতে B-অবস্থানে আসিয়াছে। A এবং B বিন্দুদ্বয় কেন্দ্রে AOB কোণ উৎপন্ন করিয়াছে। সুতরাং $\angle AOB$=বস্তুকণার কৌণিক বেগ।



চিত্র 5.2

ইহাকে সাধারণত w (ওমেগা) দ্বারা ও রেডিয়ান মাপে প্রকাশ করা হয়। কণাটি যদি t সময়ে A বিন্দু হইতে C বিন্দুতে পৌছায় এবং $\angle AOC=\theta$ হয়, তবে, কৌণিক বেগ, $w=\frac{\theta}{t}$

কণাটি যদি সমান সমান সময়ে সমান সমান কোণ-পরিমাণ আবর্তিত হয়, তবে কণাটির কৌণিক বেগকে সমহার (uniform) এবং তাহার বৃত্তগতিকে সুষম বা **সম-বৃত্তগতি** (uniform circular motion) বলা হয়।

অপর পক্ষে, অসমহার কৌণিক বেগের ক্ষেত্রে সময়ের সহিত কৌণিক বেগের বৃদ্ধি বা হ্রাসের হারকে কৌণিক ত্বরণ বা মন্দন বলা হইবে।

সমবৃত্তগতির ক্ষেত্রে, একটি পূর্ণ আবর্তনকালের সময় T সেকেণ্ড হইলে, কৌণিক বেগ, $w=\frac{2\pi}{T}$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড [$\because$ $360^\circ=2\pi$ রেডিয়ান]

আবার, বস্তুকণাটি যদি প্রতি সেকেণ্ডে 'n' বার পূর্ণ আবর্তন করে, তবে 1 সেকেণ্ড-এর অতিক্রান্ত কোণ $=2\pi.n$ রেডিয়ান এবং ইহাই কৌণিক বেগ।
$\therefore \quad w=2\pi n$

5.2. কৌণিক বেগ ও রৈখিক বেগের সম্পর্ক (Relation between angular velocity and linear velocity) :

বৃত্তপথে সমহারে পরিভ্রমণশীল বস্তুকণা সমক্রুতি-সম্পন্ন। যদি মনে করা যায় যে বস্তুকণার রৈখিক বেগ v এবং ইহা T সেকেণ্ডে r-ব্যাসার্ধের বৃত্তের পরিধি বরাবর একবার পূর্ণ আবর্তন করে, তবে

T সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব $=2\pi r$

$\therefore$ 1 ,, ,, ,, $=v=\frac{2\pi r}{T}$.

এখন, একবার পূর্ণ আবর্তনে অতিক্রান্ত কোণ $=360^\circ=2\pi$ রেডিয়ান

$\therefore$ কৌণিক বেগ $=\frac{2\pi}{T}$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড

$\therefore$ রৈখিক বেগ, $v=\frac{2\pi}{T}.r=w.r.$

অর্থাৎ, রৈখিক বেগ = কৌণিক বেগ × বৃত্তের ব্যাসার্ধ

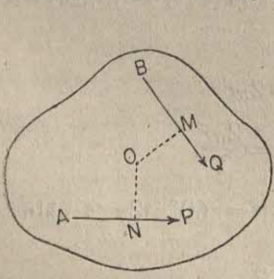
5.3. বলের ভ্রামক (Moment of a force) :

ঘূর্ণনগতি সম্পর্কে আলোচনাকালে যে প্রশ্ন সর্বপ্রথম মনে জাগে, তাহা হইল, ঘূর্ণনের কারণ কি? এই প্রশ্নের উত্তর প্রসঙ্গে বলবিদ্যার সাধারণ জ্ঞান

হইতে বলা যায় যে-কোন গতিরই কারণ বল, সুতরাং ঘূর্ণনেরও কারণ বল। কিন্তু বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করলেই কি ঘূর্ণন হইবে? না, বস্তুটি যদি কোন স্থির বিন্দু বা অক্ষে আবদ্ধ থাকে, তবেই ঘূর্ণনের সৃষ্টি হইবে। উদাহরণস্বরূপ, দরজা বা জানালার উপর বল প্রয়োগ করিলে উহা কব্জার চারিদিকে ঘুরিতে থাকে। কিন্তু দরজাটি যদি প্রস্থ বরাবর কব্জার দিকে ঠেলা হয় তাহা হইলে কিন্তু ঘূর্ণনের সম্ভাবনা নাই। এক্ষেত্রে, বলের ক্রিয়ারেখা কব্জার ভিতর দিয়া যাইতেছে। সুতরাং দেখা যাইতেছে, ঘূর্ণন সৃষ্টির জন্য কোন স্থির বিন্দু বা অক্ষে আবদ্ধ বস্তুর উপর এমনভাবে বল-প্রয়োগ করিতে হইবে যাহাতে প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ারেখা কখনও সেই বিন্দু দিয়া না যায়।

এখন, দরজাটিকে সহজে খুলিবার জন্য কোথায় বল প্রয়োগ করিতে হইবে? এ প্রশ্নের উত্তরেও আমরা সাধারণ জ্ঞান হইতে বলিতে পারি, যে-বল কব্জা হইতে যত বেশী দূরে প্রয়োগ করা যাইবে, দরজা তত অনায়াসে খোলা যাইবে। অর্থাৎ, ঘূর্ণমান বস্তুর ঘূর্ণনপ্রবণতার পরিমাণ নির্ভর করে প্রযুক্ত বল ও বলটির ক্রিয়ারেখা হইতে স্থির বিন্দু বা অক্ষের দূরত্বের উপর। এই দুই রাশির গুণফলকে ভ্রামক (Moment) বলা হয়।

কোন বিন্দু বা অক্ষের চারিদিকে কোন বলের ভ্রামক বলিতে ঐ বল এবং নির্দিষ্ট বিন্দু বা অক্ষ হইতে বলের ক্রিয়ারেখার লম্বদূরত্বের গুণফলকে বুঝায়।



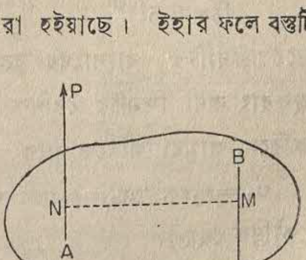
চিত্র 5.3

একটি ধাতব পাতকে অনুভূমিক একটি অক্ষের O বিন্দুতে উল্লম্বভাবে ধরা আছে (চিত্র 5.3)। ইহার A বিন্দুতে AP বরাবর একটি বল P প্রয়োগ করা হইল। ইহাতে পাতটি বামাবর্তে অর্থাৎ ঘড়ির কাঁটার বিপরীত ঘুরিবে। এখন A বিন্দুর পরিবর্তে B বিন্দুতে যদি একটি বল Q, BQ বরাবর প্রয়োগ করা হইত, তবে পাতটি দক্ষিণাবর্তে অর্থাৎ ঘড়ির কাঁটার দিকে ঘুরিতে আরম্ভ করিত। দেখা যাইতেছে, O বিন্দু সাপেক্ষে P এবং Q বলের ক্রিয়ারেখার দিকের উপর পাতটির ঘূর্ণনের দিক নির্ভর করিতেছে। O বিন্দু হইতে এই ক্রিয়ারেখাদ্বয়ের উপর অঙ্কিত লম্বদ্বয় যথাক্রমে ON এবং OM হইলে P এবং Q বলের ভ্রামক যথাক্রমে $P.ON$ এবং $Q.OM$।

যদি $P.ON = Q.OM$ হয়, তবে পাতটি স্থির থাকিবে। যে ভ্রামক বস্তুর বামাবর্তী ঘূর্ণন উৎপাদন করে, তাহাকে ধণাত্মক ভ্রামক এবং যে ভ্রামক দক্ষিণাবর্তী ভ্রামক উৎপাদন করে, তাহাকে ঋণাত্মক ভ্রামক বলে। এখানে $P.ON$ ভ্রামকটি ধনাত্মক এবং $Q.OM$ ভ্রামকটি ঋণাত্মক। **কোন স্থির বিন্দু বা অক্ষে আবিদ্ধ কোন বস্তুর উপর সমতলীয় বলশ্রেণী ক্রিয়া করিলে যদি ধনাত্মক ভ্রামকগুলির যোগফল ঋণাত্মক ভ্রামকগুলির যোগফলের সমান হয় তবে বস্তুটি সাম্য অবস্থায় অবস্থান করিবে।** ইহাকে ভ্রামকের নীতি বলে।

5.4. দ্বন্দ্ব (Couple) : দুইটি সমান, সমান্তরাল ও বিপরীতমুখী বলকে একটি যুগ্মবল (Couple) বা দ্বন্দ্ব বলে। একটি বস্তুর দুইটি বিভিন্ন বিন্দুতে যখন দ্বন্দ্ব প্রযুক্ত হয় তখন ঘূর্ণনের সৃষ্টি হয়। প্রাত্যহিক জীবনে আমরা ইহার অসংখ্য উদাহরণ দেখিতে পাই। চাবি দিয়া তালা খুলিবার সময় বা দরজার হাতল ঘুরাইবার সময় বা দুই আঙ্গুলে লাট্টু ঘুরাইবার সময় আমরা এইরূপ দ্বন্দ্ব প্রয়োগ করি। ঘূর্ণনের দিক ও মান দ্বারাই দ্বন্দ্বের দিক ও মান নির্ণয় করা হয়।

5.4. চিত্রে একটি বস্তুর A এবং B বিন্দুতে P মানের দুইটি সমান ও সমান্তরাল বল বিপরীতমুখে প্রয়োগ করা হইয়াছে। ইহার ফলে বস্তুটির ঘূর্ণন শুরু হইবে। এই দুই বলের ক্রিয়ারেখাদ্বয়ের লম্বদূরত্ব যেন NM, ইহাকে প্রযুক্ত দ্বন্দ্বের বাহু (arm) বলে। **দ্বন্দ্বের যে কোন একটি বলের ও উহার বাহুর গুণফলকে দ্বন্দ্বের ভ্রামক বলা হয়।** এখানে ক্রিয়াশীল দ্বন্দ্বের ভ্রামক=P.NM. সাধারণ ভ্রামকের মতোই দ্বন্দ্বের ভ্রামক বামাবর্তী হইলে ধনাত্মক আর দক্ষিণাবর্তী হইলে ঋণাত্মক। চিত্রে প্রদর্শিত দ্বন্দ্বের ভ্রামক দক্ষিণাবর্তী, সুতরাং ঋণাত্মক।



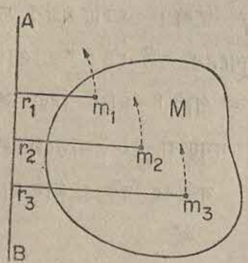
চিত্র 5.4

5.5. টর্ক ও কৌণিক ভরবেগ বা ভরবেগের ভ্রামক (Torque and Angular momentum or Moment of momentum) :

দ্বন্দ্বের ভ্রামককে টর্ক বলা হয়। সুষমবেগে সরলরেখায় চলমান বস্তু-কণার ত্বরণ সৃষ্টি করিতে হইলে কণার উপর বল প্রয়োগ করিতে হয়, ইহা

আমরা নিউটনের গতিসূত্রে জানিয়াছি। ঘূর্ণমান বস্তুর কৌণিক গতিবেগ বৃদ্ধি করিতে বা কৌণিক ত্বরণ সৃষ্টি করিতে তেমনি বস্তুর উপর টর্ক প্রয়োগ করিতে হয়। সরলরৈখিক গতির ক্ষেত্রে প্রযুক্ত বল যেমন ভরবেগের পরিবর্তন ঘটায়, তেমনি কৌণিক গতির ক্ষেত্রেও প্রযুক্ত টর্ক কৌণিক ভরবেগের পরিবর্তন ঘটায়। ভরবেগ যেমন ভর ও বেগের গুণফলকে বুঝায়, কৌণিক ভরবেগ বলিতে কিন্তু সাধারণ ভর ও কৌণিক বেগের গুণফলকে বুঝায় না—ঘূর্ণনের ক্ষেত্রে কার্যকরী ভর ঘূর্ণাক্ষের উপর নির্ভরশীল। নীচের আলোচনায় তাহা পরিষ্কার হইবে।

ধরা যাক, একটি জড়বস্তু M নির্দিষ্ট অক্ষ AB-র চতুর্দিকে সমহার কৌণিক বেগ w লইয়া আবর্তন করিতেছে (চিত্র 5.5)। M বস্তুকে m_1, m_2, m_3 ইত্যাদি বস্তুকণার সমষ্টি বলিয়া মনে করা যায়। AB অক্ষ হইতে কণাগুলির দূরত্ব যেন r_1, r_2, r_3, ইত্যাদি। কণাগুলি পরস্পর দৃঢ়সংবদ্ধ বলিয়া উহাদের সকলের কৌণিকবেগ একই অর্থাৎ w। কিন্তু অক্ষ হইতে উহাদের দূরত্ব বিভিন্ন বলিয়া উহাদের রৈখিকগতি বিভিন্ন। m_1 ভরের কণাটি r_1 ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে, m_2 ভরের কণাটি r_2 ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে, এইভাবে পরিভ্রমণ করিতেছে।



চিত্র 5.5

সুতরাং কণা তিনটির রৈখিক বেগগুলি যথাক্রমে v_1, v_2, v_3 দ্বারা সূচিত করিলে, আমরা লিখিতে পারি

$v_1=r_1w$, $v_2=r_2w$, $v_3=r_3w$ [∵ রৈখিক বেগ=ব্যাসার্ধ× কৌণিক বেগ]

সুতরাং m_1 ভরের কণার রৈখিক ভরবেগ$=m_1r_1w$

m_2 " " " " $=m_2r_2w$ এবং এইভাবে সমস্ত কণার রৈখিক ভরবেগ বাহির করা যায়।

এখন, ঘূর্ণাক্ষ, AB-র সাপেক্ষে উহাদের ভরবেগের ভ্রামকগুলি যথাক্রমে $m_1r_1w\times r_1$, $m_2r_2w\times r_2$, ইত্যাদি।

কাজেই, সমগ্র বস্তু M-এর ভরবেগের ভ্রামক বা **কৌণিক ভরবেগ** হইবে,

$$m_1r_1w\times r_1+m_2r_2w\times r_2+m_3r_3w\times r_3+\cdots$$
$$=w[m_1r_1^2+m_2r_2^2+m_3r_3^2+\ldots\ldots]$$
$$=w.I$$

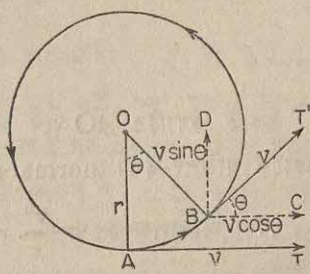
এখানে, $I=m_1r_1^2+m_2r_2^2+m_3r_3^2+\cdots$

ইহাকে বস্তুটির ঘূর্ণাক্ষ সাপেক্ষে **জড়তা-ভ্রামক** (Moment of Inertia) বলে। সাধারণভাবে আমরা ইহাকে ঘূর্ণনের ক্ষেত্রে কার্যকরী ভর বলিতে পারি।

সুতরাং **কৌণিক ভরবেগ=কৌণিক বেগ × জড়তা-ভ্রামক**। দেখা যাইতেছে, রৈখিক গতির ক্ষেত্রে বস্তুর ভরের যে ভূমিকা, ঘূর্ণনের ক্ষেত্রে জড়তা-ভ্রামকের সেই ভূমিকা।

5.6. অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বল (Centripetal and Centrifugal forces) :

নিউটনের প্রথম গতিসূত্র হইতে আমরা জানি যে, বাহ্য বল প্রয়োগে বাধ্য না হইলে গতিশীল বস্তু সর্বদা সমহারে সরলরেখায় চলিতে থাকিবে। বৃত্তপথে সমহারে পরিভ্রমণরত বস্তুর পথ সরলরেখায় নয়, বক্ররেখায়। সুতরাং, এখানে কোন-না-কোন বল নিশ্চয় ক্রিয়াশীল এবং সেই বলেরই ক্রিয়ায় সমহারে ও সরলরেখায় একটি বেগ বাঁকিয়া বৃত্ত-পথে সমদ্রুতিতে পরিবর্তিত হইয়াছে। এখন এই বলের অভিমুখ কোন্ দিকে? আমরা জানি, বলের কাজ নিজের অভিমুখে ত্বরণ উৎপন্ন করা। সুতরাং বৃত্তপথে পরিভ্রমণরত বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের অভিমুখ এমন হইবে যাহাতে বস্তুর গতির অভিমুখে বলের উপাংশ কার্যকরী হয় না। নতুবা, বস্তুর সমদ্রুতির পরিবর্তন ঘটিত। এখন বস্তুর যে-কোন মুহূর্তে গতির দিক বৃত্তের ঐ বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শকের দিকে। সুতরাং বাহ্য বল বা ত্বরণের অভিমুখ নিশ্চয়ই ইহার লম্বদিকে থাকিবে অর্থাৎ ব্যাসার্ধ বরাবর—যাহাতে তাহার স্পর্শকের দিকে বিশ্লেষিত মান শূন্য হয়।



চিত্র 5.6

ধরা যাক, একটি বস্তুকণা (চিত্র-5.6) 'v' রৈখিক বেগ লইয়া r-ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে আবর্তন করিতেছে। A বিন্দুতে উহার অবস্থানে বেগের দিক স্পর্শক AT বরাবর। সামান্য সময় t অবকাশে, মনে করা যাক, বস্তুটি B বিন্দুতে পৌছিল এবং B অবস্থানে বস্তুটি বেগের দিক স্পর্শক BT' বরাবর। $\angle AOB=\theta$

$\therefore$ θ বস্তুটির কৌণিক বেগ $\omega=\frac{\theta}{t}$.

A বিন্দুতে কণাটির বেগ AT বরাবর এবং AO মুখে ইহার উপাংশের মান শূন্য ($\because \angle OAT=90°$ এবং $v \cos 90°=0$)। B বিন্দুতে উহার বেগকে AT-র সমান্তরাল BC এবং উহার লম্ব BD দিকে বিশ্লেষ করিলে যথাক্রমে $v \cos \theta$ এবং $v \sin \theta$ পাওয়া যায় [$\because \angle T'BC=\theta$]।

θ-র মান খুব ক্ষুদ্র হইলে [অর্থাৎ A এবং B বিন্দুদ্বয় খুব কাছাকাছি অবস্থান করিলে] এবং রেডিয়ান মাপে প্রকাশ করিলে, $Sin\ \theta=\theta$ এবং $\cos \theta=1$। সুতরাং AT-র সমান্তরালে BC বরাবর বেগ একই অর্থাৎ v [$\because v \cos \theta \simeq v$] রহিয়াছে এবং AD-এর সমান্তরালে BL বরাবর এখন নূতন বেগ হইল $v\theta$ [$v \sin \theta \simeq v\theta$]।

$\therefore$ AO-মুখে t সময়ে মোট বেগ পরিবর্তন$=v\theta$

এবং বেগের পরিবর্তনের হার$=\frac{v\theta}{t}=v\omega \quad \left[\because \omega=\frac{\theta}{t}\right]$

$$=v.\frac{v}{r}$$

$$=\frac{v^2}{r}$$

ইহাই কণাটির AO-মুখে অর্থাৎ ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্রাভিমুখী ত্বরণ। ইহাকে অভিলম্ব-ত্বরণ (normal-acceleration) বলে।

$\therefore$ **অভিলম্ব-ত্বরণ**$=\frac{v^2}{r}$.

এখন ত্বরণের মান জানা গেল, সুতরাং ঐ ত্বরণ সঞ্চারকারী অভিলম্ব বলেরও মান নির্ণয় করিতে পারি। বস্তুকণার ভর m হইলে, নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র হইতে লিখিতে পারি, **অভিলম্ব বল**$=m.\frac{v^2}{r}$। বৃত্তগতিসম্পন্ন বস্তুকণার উপর ক্রিয়াশীল এই কেন্দ্রাভিমুখী বলকে **অভিকেন্দ্র বল** বলা হয়।

নিউটনের তৃতীয় সূত্র হইতে জানি যে, প্রত্যেক ক্রিয়ারই একটি সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া থাকিবে। সুতরাং অভিকেন্দ্র বলের বিপরীতমুখে একটি প্রতিক্রিয়া বল ক্রিয়া করে, এই প্রতিক্রিয়া বলকে **অপকেন্দ্র বল** বলা হয়।

অভিকেন্দ্র বল ঘূর্ণমান বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল এবং এই বল কেন্দ্রে অবস্থিত বস্তু কর্তৃক প্রদত্ত হয়। অন্যদিকে অপকেন্দ্র বল ঘূর্ণমান বস্তু কর্তৃক কেন্দ্রে অবস্থিত বস্তুর উপর ক্রিয়া করে। উভয় বলই ব্যাসার্ধ বরাবর কাজ করে এবং বিপরীতমুখে। 5.1 চিত্রে আঙুল, দড়ি বরাবর পাথরখণ্ডের উপর অভিকেন্দ্র বল প্রয়োগ করে। ইহারই প্রতিক্রিয়াস্বরূপ, পাথরখণ্ডটিও আঙুলের উপর

দড়ি বরাবর একটি টান দেয়—ইহাই অপকেন্দ্র বল। বস্তুতপক্ষে, অপকেন্দ্র বলের স্বতন্ত্র কোন অস্তিত্ব নাই—অভিকেন্দ্র বল থাকিলে তবে অপকেন্দ্র বল জন্মায়। এই হিসাবে অপকেন্দ্র বলকে সিউডো-বল (Pseudo-force) বলে। যে মুহূর্তে অভিকেন্দ্র বল অপসারিত হয়, অপকেন্দ্র বলও সেই মুহূর্তে উধাও হয়। 5.1 চিত্রে দড়িটি হঠাৎ ছিঁড়িয়া গেলে বা কাটিয়া দিলে অভিকেন্দ্র বল আর থাকে না—ফলে অপকেন্দ্র বলও থাকে না। পাথরখণ্ডটি সেক্ষেত্রে বলমুক্ত হইয়া বৃত্তের স্পর্শক বরাবর সমবেগে ছুটিয়া চলিবে।

অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বলের এইরূপ অসংখ্য উদাহরণ দেখা যায়। গ্রহ এবং উপগ্রহগুলি যখন নিজেদের পথে আবর্তন করে তখন প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল মাধ্যাকর্ষণজনিত বল হইতে উদ্ভূত হয়।

বৃত্তাকার পথে সাইকেল চালাইবার সময় আরোহীর উপর অপকেন্দ্র বল ক্রিয়া করে, ফলে আরোহী বাঁকের কেন্দ্রের বিপরীতে বল অনুভব করে। ইহা সামলাইবার জন্য তাহাকে বাঁকের দিকে কাত হইয়া একটি বিপরীত বলের সৃষ্টি করিতে হয়।

এই ধরনের বলকে ব্যবহারিক কাজেও লাগান হয়। দুধ হইতে মাখন তোলার সময় মন্থনদণ্ডের সাহায্যে পাত্রের দুধে ঘূর্ণন সৃষ্টি করা হয়। মাখন-কণাগুলি অপেক্ষাকৃত হাল্কা, এ কারণে অপকেন্দ্র বলের প্রভাবে তাহারা মন্থন-দণ্ডের কাছাকাছি জড়ো হইবে। অর্থাৎ, অপেক্ষাকৃত কম ভরের কণার বৃত্ত-পথের ব্যাসার্ধ কম হইবে। এই প্রক্রিয়ায় তরলে মিশ্রিত বিভিন্ন ঘনত্বের বস্তুকণাকে পৃথক করা যায়। যে যন্ত্রের সাহায্যে ইহা করা হয়, তাহাকে **সেণ্ট্রিফিউজ** (Centrifuge) বলে। ভিজা কাপড় শুকাইবার যন্ত্র—সেণ্ট্রিফিউগাল ড্রাইং মেসিন (Centrifugal drying machine) এই পদ্ধতিতে চলে।

উদাহরণ 1. সূতায় বাঁধা একটি বলকে সমদ্রুতিতে অনুভূমিক তলে চক্রাকারে ঘুরানো হইতেছে। বৃত্তের ব্যাসার্ধ 4 ফুট এবং বলটির বেগ 10 ফুট/সেকেণ্ড হইলে, ব্যাসার্ধমুখী ত্বরণের মান কত? [C.U. 1956]

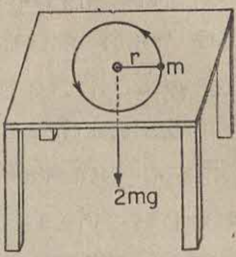
উঃ। বৃত্তের ব্যাসার্ধ r এবং বলের রৈখিক বেগ v হইলে, আমরা জানি,

$$\text{অভিলম্ব ত্বরণ} = \frac{v^2}{r}.$$

এক্ষেত্রে, $r = 4$ এবং $v = 10$

$$\therefore \ \text{অভিলম্ব-ত্বরণ} = \frac{10^2}{4} = 25 \text{ ফুট/সেকেণ্ড}^2$$

2. m-ভরের একটি বস্তু একটি মসৃণ টেবিলের উপর r-ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করিতেছে। টেবিলের উপর বৃত্তের কেন্দ্রে একটি ছিদ্রের ভিতর দিয়া গলান একটি দড়ির সাহায্যে ঘূর্ণমান বস্তুটি অপর একটি $2m$ ভরের বস্তুকে টেবিলের নীচে খাড়াভাবে স্থির অবস্থায় ধরিয়া রাখিলে, ঘূর্ণমান বস্তুটির বেগ কত ?



চিত্র 5.7

উঃ। এখানে সুতার টানই প্রযুক্ত অভিকেন্দ্র বলের সমান।

$\therefore$ অভিকেন্দ্র বল $=2mg$

বস্তুর বেগ v হইলে,

অভিকেন্দ্র বল $=\dfrac{mv^2}{r}=2mg$

বা, $v^2=2gr$, বা, $v=\sqrt{2gr}$

প্রশ্নাবলী

1. কৌণিক বেগের সংজ্ঞা দাও। সমবৃত্তগতি কাহাকে বলে ? কৌণিক বেগ ও রৈখিক বেগের সম্পর্ক বাহির কর।

[Define angular velocity. What is uniform circular motion ? Find a relation between angular velocity and linear velocity.]

2. বলের ভ্রামক বলিতে কি বুঝ ? চিত্রসহযোগে ভ্রামক-নীতি বুঝাইয়া দাও।

[What do you mean by moment of a force ? Explain with a diagram the principle of moments.]

3. দ্বন্দ্ব কি ? দ্বন্দ্বের ভ্রামক বলিতে কি বুঝ ? কৌণিক ভরবেগ কাহাকে বলে ? দ্বন্দ্বের ভ্রামক ও কৌণিক ভরবেগের সম্পর্ক কি ?

[What is a couple ? What do you mean by the moment of a couple ? Define angular momentum and find its relation with moment of a couple.]

4. অভিলম্ব ত্বরণ কি? অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বল ব্যাখ্যা কর ও ইহাদের মান নির্ণয় কর।

[What is normal acceleration ? Explain centripetal and centrifugal forces and find out their magnitude.]

5. অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বলের কয়েকটি উদাহরণ দাও। ইহাদের দু-একটি ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ কর।

[Give some examples of centripetal and centrifugal forces. State one or two practical applications of these.]

6. একটি মোটরগাড়ী 60 মাইল/ঘণ্টা গতিবেগে 40 গজ ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তপথে চলিতেছে। উহার ত্বরণ কত?

[An automobile is moving with a speed of 60 miles/hr. round a circular path of radiaus 40 yds. What is its acceleration ?] [Ans. 64·5 ft/sec^2] [C. U. 1958]

7. একটি টেবিলের উপর 8-পাউণ্ড ভরের একটি বস্তু টেবিলের একটি নির্দিষ্ট বিন্দুর সহিত 4 ফুট দীর্ঘ দড়ি দিয়া বাঁধা আছে। বস্তুটি প্রতি মিনিটে 300 বার আবর্তন করিলে দড়িতে প্রযুক্ত টান নির্ণয় কর। [B. S. E. 1962]

[A particle of mass 8 lbs., resting on a smooth table, and attached to a fixed point on the table by a string 4 ft. long is making 300 revolutions per minute. Find the tension in the string.] [Ans. 3200π^2 poundals]

ষষ্ঠ অধ্যায়

কার্য, ক্ষমতা ও শক্তি (Work, Power and Energy)

6.1. কার্য (Work) :

কোন কিছু করাকেই আমরা সাধারণভাবে কার্য বলি। প্রাত্যহিক জীবনে আমরা নানাবিধ কার্য করি এবং আমাদের চারিপাশে অসংখ্য কার্যের উদাহরণ দেখিতে পাই। কুলি বোঝা বহন করে, মাঝি নৌকা চালায়, গরু গাড়ী টানে—সব ক্ষেত্রেই কার্য করা হইতেছে। কিন্তু এই কার্যের পরিমাণ কত এবং কে কত বেশী বা কম কার্য করিতেছে, তাহা নিরূপণ করিতে হইলে কার্যের কারণ এবং ইহার প্রকৃতি জানা দরকার।

সাধারণভাবে কার্য বলিতে যাহা বোঝায়, বিজ্ঞানের ভাষায় কার্য কথাটির অর্থ তাহা হইতে একটু পৃথক্। যেমন, একটি লোক একটি বিরাট পাথরকে সরাইবার জন্য বারবার ধাক্কা দিতেছে, কিন্তু ধাক্কার ফলে যদি পাথরটির একটুও স্থানচ্যুতি না ঘটে তবে লোকটি যথেষ্ট পরিশ্রম করিলেও বিজ্ঞানের ভাষায় কোন কার্য করা হইল না বলা হইবে। কার্য নিরূপণ করিবার জন্য দুইটি জিনিস জানা দরকার ; (1) প্রদত্ত বল ও (2) বল বস্তুর যে বিন্দুর উপর প্রযুক্ত হইয়াছে, তাহার স্থানচ্যুতি।

বল বস্তুর যে বিন্দুতে প্রযুক্ত হয়, তাহাকে **প্রয়োগবিন্দু** (point of application) বলে। প্রয়োগবিন্দুর স্থানচ্যুতি যখন বলের অভিমুখে হয়, তখন বল কার্য করে আর স্থানচ্যুতি বিপরীত দিকে ঘটিলে বলের বিরুদ্ধে কার্য



চিত্র 6.1 (a)



চিত্র 6.1 (b)

করা হইতেছে বলা হয়। যেভাবেই কার্য করা হউক না কেন, কৃতকার্যের পরিমাপ নিম্নলিখিতভাবে করা হয়।

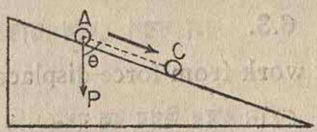
কৃতকার্য=বল × প্রয়োগবিন্দুর স্থানচ্যুতি

প্রযুক্ত বল P, প্রয়োগবিন্দুর স্থানচ্যুতি S হইলে, কৃতকার্য $W = P \times S$. চিত্রে (6.1 a) P বল A বস্তুর উপর AB রেখা বরাবর ক্রিয়া করিয়াছে, ইহার ফলে A বস্তুটি C বিন্দুতে সরিয়া গিয়াছে। এক্ষেত্রে, কার্যের পরিমাণ= $P.AC$. একক। (6.1b) চিত্রে P-বলের অভিমুখ BA বরাবর, কিন্তু প্রয়োগ-বিন্দু A বলের বিপরীত দিকে C বিন্দুতে সরিয়া গিয়াছে। এক্ষেত্রে, কার্যের

পরিমাণ $= -P. AC.$ একক। সুতরাং প্রথম ক্ষেত্রে বল কার্য করিতেছে আর দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হইতেছে। মাটি হইতে একটি ভারী জিনিসকে উপর দিকে তুলিলে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হয়।

কোন বস্তুর উপর বলপ্রয়োগ করিলে যদি প্রয়োগবিন্দুর স্থানচ্যুতি ঘটে, তাহা হইলে, বলের দ্বারা বা বলের বিরুদ্ধে, যেভাবেই হউক, কার্য করা হইয়াছে বলা হয়।

কৃতকার্যের ক্ষেত্রে সাধারণতঃ প্রয়োগবিন্দু বলের অভিমুখে বা বিপরীতে একই রেখা বরাবর সরিয়া যায়। কিন্তু এমনও হইতে পারে বল যে রেখা বরাবর ক্রিয়া করিতেছে, প্রয়োগবিন্দুর সরণ ঐ রেখার সহিত একটি নির্দিষ্ট কোণ করিয়া হইতেছে। যেমন, নততলের ক্ষেত্রে (চিত্র 6.2) অভিকর্ষজ বল (P) লম্ব বরাবর কাজ করিতেছে, কিন্তু বস্তু নততল বাহিয়া A বিন্দু হইতে C বিন্দুতে সরিয়া আসিয়াছে। এক্ষেত্রে নততল বরাবর বলের কার্যকর উপাংশ হইল $P \cos \theta$, সুতরাং প্রযুক্ত কার্য $= P \cos \theta. AC.$ কোন বস্তুকে যদি সমতল ভূমির উপর দিয়া টানিয়া লওয়া যায়, তবে $\theta = 90°$ হইবে এবং কৃতকার্য $= P \cos 90° \times$ সরণ $= 0$ হইবে। অর্থাৎ বলের লম্ব অভিমুখে বস্তুর সরণ ঘটিলে কোন কার্য হইবে না।



চিত্র 6.2

6.2. কার্যের একক (Units of Work) :

(a) **চরম একক** (Absolute unit) : সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে কার্যের চরম একক **আর্গ** (erg)। 1 ডাইন বল প্রয়োগ করিলে প্রয়োগবিন্দু যদি 1 সে.মি. সরিয়া যায়, তবে 1 আর্গ কার্য করা হইয়াছে বলা হয়।

এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে কার্যের চরম একক **ফুট-পাউণ্ডাল** (foot-poundal)। 1 পাউণ্ডাল বল প্রয়োগ করিলে প্রয়োগবিন্দু যদি 1 ফুট সরিয়া যায়, তবে 1 ফুট-পাউণ্ডাল কার্য করা হইয়াছে বলা হয়।

সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে চরম একক আর্গ খুব ছোট হওয়ায় ব্যবহারিক ক্ষেত্রে আরও একটি বড় একক **জুল** (Joule) ব্যবহার করা হয়। 1 জুল $= 10^7$ আর্গ।

(b) **অভিকর্ষীয় একক** (Gravitational unit) : সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে অভিকর্ষীয় একক **গ্র্যাম-সেন্টিমিটার** (gramme-centimetre)।

1 গ্রাম বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে 1 সে.মি., উচ্চে তুলিলে যে কার্য করা হয়, তাহাকে এক-গ্রাম-সেন্টিমিটার কার্য বলে।

1 গ্রাম সে.মি.=981 আর্গ।

এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে অভিকর্ষীয় একক **ফুট-পাউণ্ড** (foot-pound)। 1 পাউণ্ড বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে 1 ফুট উচ্চে তুলিলে যে কার্য করা হয় তাহাকে এক ফুট-পাউণ্ড বলে।

1 ফুট-পাউণ্ড=32 ফুট-পাউণ্ডাল।

আবার, 1 ফুট-পাউণ্ডাল=1 পাউণ্ডাল × 1 ফুট

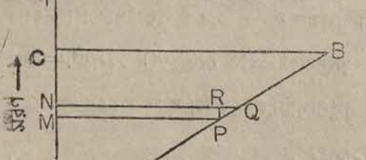
$=13826 \times 30{\cdot}48$ আর্গ

[$\because$ 1 পাউণ্ডাল=13826 ডাইন]

$=4{\cdot}214 \times 10^5$ আর্গ (প্রায়)।

6.3. বল-সরণ লেখ দ্বারা কার্যের পরিমাপ (Measurement of work from force-displacement graph) :

কোন বস্তুর উপর বল যখন পরিবর্তনশীল, তখন বল ও প্রয়োগবিন্দুর সরণের লেখ হইতে কার্যের পরিমাপ সহজে করা যায়। চিত্রে (চিত্র 6.3) OX অক্ষ বরাবর ক্রমবর্ধমান বল ও OY অক্ষ বরাবর প্রয়োগবিন্দুর সরণের মান সন্নিবেশ করিলে যেন AB লেখ-চিত্রটি পাওয়া যায়।



চিত্র 6.3

বলের মান যখন MP তখন প্রয়োগ-বিন্দুর সরণ OM এবং বলের মান যখন NQ তখন সরণ ON। এখন M এবং N বিন্দু দুইটি যদি খুব কাছাকাছি হয় তবে প্রয়োগবিন্দুর M হইতে N বিন্দুতে সরণকালে বলটির বৃদ্ধি নগণ্য ধরা যাইতে পারে অর্থাৎ বলটির মান প্রায় অপরিবর্তিত বলা যায়। সুতরাং এক্ষেত্রে, কৃতকার্য=বল × সরণ

$=MP \times MN$

$=PRNM$ ক্ষেত্র [R, P হইতে NQ-এর উপর লম্বের পাদবিন্দু।]

M এবং N অত্যন্ত কাছাকাছি বলিয়া RQ দূরত্ব অতি নগণ্য, অর্থাৎ P এবং Q বিন্দুদ্বয় প্রায় গায়ে গায়ে অবস্থিত বলিয়া মনে করা যায়। সেক্ষেত্রে $PRNM$ ক্ষেত্র কার্যত $PQNM$ ক্ষেত্রের সমান বলিয়া ধরা যায়। এইরূপে

O হইতে C বিন্দু পর্যন্ত প্রয়োগবিন্দুর সরণের ক্ষেত্রে $OABC$ ক্ষেত্র কার্যের আসন্ন পরিমাণ নির্দেশ করিবে।

6.4. ক্ষমতা (Power) :

কার্য সম্পাদনের হারকে ক্ষমতা বলে। একক সময়ে কৃতকার্যের পরিমাণকে ক্ষমতার পরিমাপ বলা হয়। অর্থাৎ,

$$\text{ক্ষমতা}=\frac{\text{কৃতকার্য}}{\text{সময়}}।$$

কোন লোক t সময় ধরিয়া W পরিমাণ কার্য সম্পাদন করিলে তাহার ক্ষমতা$=\frac{W}{t}$। একই পরিমাণ কার্য বিভিন্ন লোক বিভিন্ন সময় ধরিয়া করিলে তাহাদের ক্ষমতা বিভিন্ন। যে লোক সর্বাপেক্ষা কম সময় লইবে, তাহার ক্ষমতা সর্বাপেক্ষা বেশী।

6.4a. ক্ষমতার একক (Units of Power) :

(a) **চরম একক :** সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে ক্ষমতার চরম একক **আর্গ প্রতি সেকেণ্ডে** (erg per sec.) অর্থাৎ এক সেকেণ্ডে কৃতকার্যের পরিমাণ যখন এক আর্গ।

এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে ক্ষমতার চরম একক **ফুট-পাউণ্ডাল প্রতি সেকেণ্ডে** (foot poundal per sec.) অর্থাৎ এক সেকেণ্ডে কৃতকার্যের পরিমাণ যখন এক ফুট-পাউণ্ডাল।

সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ব্যবহারিক একক হিসাবে **এক জুল প্রতি সেকেণ্ডে** (One Joule per sec) ধরা হয়। ইহাকে এক **ওয়াট** (watt) বলে।

$$1 \text{ ওয়াট}=1 \text{ জুল/সেকেণ্ড}=10^7 \text{ আর্গ/সেকেণ্ড।}$$

(b) **অভিকর্ষীয় একক :** এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে ক্ষমতার ব্যবহারিক এককের নাম **হর্স পাওয়ার** (horse power) বা **অশ্ব-ক্ষমতা**। অশ্ব-ক্ষমতা বলিতে এক সেকেণ্ডে 550 ফুট-পাউণ্ড কার্য বোঝায়। অর্থাৎ **অভিকর্ষের বিরুদ্ধে এক সেকেণ্ডে 550 পাউণ্ডকে এক ফুট তুলিবার ক্ষমতাকে এক হর্স পাওয়ার বলে।** ইংরাজীতে ইহাকে সংক্ষেপে *H.P.* দ্বারা সূচিত করা হয়। 1 হর্স পাওয়ার (*H.P.*)$=500$ ফুট পাউণ্ড/সেকেণ্ড।

সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে নিরবচ্ছিন্নভাবে এক সেকেণ্ডে এক গ্র্যাম সেন্টি-মিটার কার্য সম্পাদনের হারকে ক্ষমতার একক ধরা হয়।

6.5. অশ্ব-ক্ষমতা ও ওয়াটের পারস্পরিক সম্পর্ক :

1 অশ্ব-ক্ষমতা=550 ফুট-পাউণ্ড প্রতি সেকেণ্ডে

$=550 \times 32{\cdot}2$ ফুট-পাউণ্ডাল প্রতি সেকেণ্ডে

$=550 \times 32{\cdot}2 \times 30{\cdot}48 \times 13826$ আর্গ প্রতি সেকেণ্ডে

[1 পাউণ্ডাল=13826 ডাইন]

$=\frac{550 \times 32{\cdot}2 \times 30{\cdot}48 \times 13826}{10^7}$ জুল প্রতি সেকেণ্ডে

=746 ওয়াট (প্রায়)।

উদাহরণ (1) 100 পাউণ্ড ভরের একটি বালক কোন সিঁড়ির 20 ধাপ উপরে উঠিল। প্রতিটি ধাপের উচ্চতা 9 ইঞ্চি এবং উঠিতে তাহার 5 সেকেণ্ড সময় লাগিল। বালকটি কত অশ্বশক্তি প্রয়োগ করিয়াছে ? [H.S. 1963]

উত্তর : 20টি ধাপের মোট উচ্চতা $=20 \times \frac{9}{12}$ ফুট বা 15 ফুট

∴ বালকটি কর্তৃক কৃতকার্য $=100 \times 15$ বা 1500 ফুট-পাউণ্ড

∴ ক্ষমতা $=\frac{1500}{5}=300$ ফুট পাউণ্ড/সেকেণ্ড

$=\frac{300}{550}$ অশ্ব-ক্ষমতা

[1 H.P.=550 ft lb./sec.]

$=\frac{6}{11}$ **অশ্ব-ক্ষমতা।**

(2) পাম্পের সাহায্যে 100 ফুট উপরে ঘণ্টায় 10,000 গ্যালন জল উঠাইতে কত অশ্ব-শক্তি সম্পন্ন পাম্পের প্রয়োজন ? [1 গ্যালন জলের ভার= 10 পাউণ্ড] [H.S. 1968.]

উত্তর : এখানে, বাধা=10,000 গ্যালন জলের ওজন

$=10{,}000 \times 10$ পাউণ্ড-ভার

100 ফুট উঠাইতে কৃতকার্য $=10{,}000 \times 10 \times 100$ ফুট-পাউণ্ড

∴ ক্ষমতা $=\frac{10{,}000 \times 10 \times 100}{60 \times 60}$ ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড

$=\frac{10{,}000 \times 10 \times 100}{60 \times 60 \times 550}$ অশ্ব-ক্ষমতা

=5·05 অশ্ব-ক্ষমতা।

6.6. শক্তি (Energy) :

বস্তুর কার্য করিবার সামর্থ্যকে শক্তি বলা হয়। বস্তুর শক্তির পরিমাপ করা হয় তাহার দ্বারা কৃতকার্যের পরিমাপ করিয়া—অর্থাৎ কৃতকার্যের পরিমাপই শক্তির পরিমাপ। উভয়ের একক একই।

শক্তির নিজস্ব কোন অস্তিত্ব নাই। ইহা বস্তুর সহিত যুক্ত থাকিয়া বা বাহির হইতে বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইয়া বস্তুর কার্যকলাপ নিয়ন্ত্রিত করে। তাপ, আলোক, শব্দ ইত্যাদি শক্তির এক একটি রূপ। বস্তু এবং শক্তি অবিচ্ছিন্নভাবে থাকিয়া আমাদের জগৎ-সংসারকে প্রতিনিয়ত কর্মচঞ্চল করিয়া রাখিয়াছে।

শক্তির বিভিন্ন রূপের মধ্যে যান্ত্রিক শক্তি (mechanical energy) একটি বিশেষ রূপ। বস্তু স্থির বা গতিশীল যে অবস্থাতেই থাকুক না কেন, ইহার কিছু কাজ করিবার শক্তি নিহিত থাকে। এই শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তি বলে। এই শক্তিরও আবার দুইটি প্রকাশ, (a) **গতিশক্তি** (Kinetic energy) (b) **স্থিতিশক্তি** (Potential energy)।

গতিশক্তি (Kinetic energy) :

গতিশীলতার জন্য বস্তু যে শক্তি পায় তাহাকে গতিশক্তি বলে।

গতিশীলতার জন্য বস্তু যে শক্তিলাভ করে, প্রাত্যহিক জীবনে আমরা তাহার বহু দৃষ্টান্ত দেখিতে পাই। এক টুকরা পাথরকে দেহের সঙ্গে ঠেকাইয়া রাখিলে উহা আঘাত করে না। কিন্তু উহা ছুঁড়িয়া দিলে আঘাত করার শক্তি অর্জন করে। এই শক্তি উহার গতিশীলতার জন্য পায়। জলের গতিশক্তিকে কাজে লাগাইয়া চাকা ঘোরান হয়, বিদ্যুৎ উৎপাদন করা যায়।

6.7. গতিশক্তির পরিমাপ (Measurement of Kinetic energy) :

একটি গতিশীল বস্তুর গতিমুখের বিরুদ্ধে উপযুক্ত পরিমাণ বল প্রয়োগ করিলে কিছুদূর গিয়া বস্তুটি স্থির হইয়া যাইবে। ইহার অর্থ, প্রযুক্ত বলের বিপরীত দিকে প্রয়োগবিন্দুর সরণ ঘটে এবং ফলে ঐ বলের বিরুদ্ধে বস্তু কিছুটা কার্য সম্পাদন করে। বলপ্রয়োগের পর বস্তুটি থামিয়া যাইবার পূর্ব পর্যন্ত বল মোট যে কার্য করে তাহাই বস্তুটির গতিশক্তির পরিমাপ। বস্তুর ভর ও গতিবেগ জানা থাকিলে উহার গতিশক্তির পরিমাপ নিম্নলিখিতভাবে করা যায়।

মনে করা যাক, 'm' ভরসম্পন্ন একটি বস্তু 'u' বেগ লইয়া চলিতেছে। উহাকে থামাইবার জন্য 'P' পরিমাণ বল বস্তুর গতিমুখের বিরুদ্ধে প্রয়োগ করা হইল। ইহাতে বস্তুটির গতিবেগ মন্দীভূত হইবে এবং ধরা যাক, 'f' মন্দন সৃষ্টি হইল এবং S দূরত্ব অতিক্রম করিবার জন্য পর বস্তুটি স্থির অবস্থায় আসিল।

এখন বস্তু কর্তৃক কৃতকার্য $=P\times S$

নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী $P=mf$

বা, $f=P/m \cdots\cdots(1)$

বস্তুটির চূড়ান্ত বেগ 0, সুতরাং $v^2=u^2-2fs$ হইতে লিখিতে পারি [f ঋণাত্মক, কারণ এক্ষেত্রে মন্দন]

$$0^2=u^2-2f.s.$$

অথবা, $2fs=u^2$

অথবা, $2.\frac{P}{m}.S=u^2$ ......[(1) সমীকরণ হইতে f-এর মান বসাইয়া]

অথবা, $P.S=\frac{1}{2}mu^2$.

সুতরাং কৃতকার্য বা গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mu^2=\frac{1}{2}\times$ ভর $\times$ (গতিবেগ)^2

দেখা যাইতেছে, বস্তুর গতিশক্তি উহার ভর এবং বেগের উপর নির্ভরশীল; প্রযুক্ত বল (P)-এর উপর নহে।

সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে গতিশক্তি আর্গ, গ্রাম-সেন্টিমিটার ইত্যাদি এবং এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে ফুট-পাউণ্ডাল, ফুট-পাউণ্ড ইত্যাদি এককে প্রকাশ করা হয়।

6.8. চলমান বস্তুর গতি-শক্তির পরিবর্তন উহার উপর প্রযুক্ত বলের দ্বারা সম্পন্ন কার্যের সমান (The change of kinetic energy of a moving body is equal to work done by the force impressed on it.)

মনে করা যাক, 'm' ভরবিশিষ্ট বস্তুর উপর P বল ক্রিয়া করার ফলে বস্তুর বেগ 'u' হইতে পরিবর্তিত হইয়া 'v' হয় এবং প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ারেখায় বস্তুর ঐ সময়ে সরণ 'S' হয়।

এখানে প্রয়োগবিন্দুর সরণ বলের অভিমুখে বলিয়া বল কর্তৃক কৃত-কার্য $=P.S.$

বস্তুটির উপর সৃষ্ট সমত্বরণকে 'f' দ্বারা সূচিত করিলে,

$$P=mf; \text{ বা, } f=\frac{P}{m}$$

$v^2=u^2+2fs$ সূত্র অনুযায়ী এখানে

$$v^2=u^2+2.\frac{P}{m}.S.$$

$$\text{বা, } v^2-u^2=2.\frac{P}{m}.S.$$

বা $\frac{1}{2}m(v^2-u^2)=P.S.$

বা $\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mu^2=P.S.$

এখানে, $\frac{1}{2}mv^2$=প্রান্তিক গতিশক্তি এবং $\frac{1}{2}mu^2$=প্রাথমিক গতিশক্তি

সুতরাং $\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mu^2$=গতিশক্তির পরিবর্তন

∴ **গতিশক্তির পরিবর্তন=বল কর্তৃক কৃতকার্য।**

6.9. স্থিতিশক্তি (Potential energy) :

বস্তুর অবস্থান্তরজনিত স্থিতির ফলে বস্তুর মধ্যে যে শক্তি সঞ্চিত হয় তাহাকে স্থিতিশক্তি বলে।

বস্তুর বিশেষ অবস্থানের জন্য বস্তু একটি শক্তি লাভ করে। একটি হাতুড়িকে উপরে তুলিয়া ধরিলে উহার মধ্যে স্থিতিশক্তি সঞ্চিত হয় এবং হাতুড়ি এই স্থিতিশক্তির জন্য কাজ করিতে পারে। হাতুড়িটিকে একটি পেরেকের উপর ফেলিলে কাঠ বা দেওয়াল যাহারই উপর পোঁতা থাকুক না কেন, পেরেকটি আরও পুঁতিয়া যাইবে। ঘড়িতে দম দিলে ঘড়ির মধ্যে স্থিতিশক্তি সঞ্চিত হয় এবং স্থিতিশক্তি ঘড়িকে পরবর্তী সময়ে চলিতে সাহায্য করে। খাড়াভাবে কোন বস্তুকে উপরে তুলিলে অভিকর্ষীয় বলের বিরুদ্ধে কৃতকার্য বস্তুর মধ্যে স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত হয়।

বস্তুসমূহের প্রকৃতি এমন যে, উহারা এমনভাবে অবস্থান করিতে চায় যাহাতে উহাদের স্থিতিশক্তি সর্বদা সর্বনিম্ন অবস্থায় থাকে। এ কারণে, পাহাড় হইতে নদীর জলধারা নীচের দিকে নামিয়া আসে, একখণ্ড রবারকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা পূর্বের স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে।

6.10. অভিকর্ষীয় বলের বিরুদ্ধে কোন বস্তুকে একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় তুলিলে উহার মধ্যে স্থিতিশক্তি সঞ্চিত হয়, তাহার পরিমাপ নিম্নলিখিতভাবে বাহির করা যাইতে পারে।

ধরা যাক, m ভরবিশিষ্ট একটি বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে 'h' খাড়া উচ্চতায় তোলা হইয়াছে।

অভিকর্ষজ ত্বরণ 'g' হইলে, বস্তুটির ওজন=mg এবং ইহাই বস্তুটির উপর ক্রিয়াশীল অভিকর্ষ বল।

বস্তুটিকে 'h' উচ্চতায় তুলিলে প্রয়োগবিন্দুর সরণও h, সুতরাং অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে কৃতকার্য=mg.h, **ইহাই বস্তুটির মধ্যে সঞ্চিত স্থিতিশক্তির পরিমাণ।**

6.11. শক্তির রূপান্তর ও সংরক্ষণ সূত্র (Transformation of energy and law of conservation of energy) **:**

বস্তুর সকল কাজের উৎস শক্তি। সমস্ত শক্তি মূলতঃ এক হইলেও ইহার প্রকাশ বিভিন্নভাবে দেখা যায়। প্রকৃতপক্ষে **এক প্রকার শক্তি সহজেই অন্যপ্রকার শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।** ইহাকে শক্তির রূপান্তর বলে। এই রূপান্তরের কালে একপ্রকার শক্তি একই সঙ্গে একাধিক শক্তিতে পরিবর্তিত হইতে পারে।

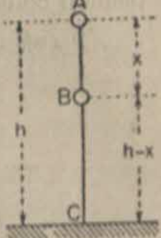
আপাতদৃষ্টিতে মনে হয়, শক্তি যখন এক রূপ হইতে অন্য রূপে পরিবর্তিত হয়, তখন শক্তির বিনাশ ঘটে বা শক্তি ক্ষয়প্রাপ্ত হয়। কিন্তু তাহা নহে। একটি দেশলাই কাঠি জ্বালিলে কাঠির মাথার বারুদ পুড়িয়া যায়। বারুদের ভিতর যে রাসায়নিক শক্তি সঞ্চিত ছিল, তাহা তাপ, আলোক ও কিছুটা শব্দ শক্তিতে রূপান্তরিত হয় এবং বিশ্বের শক্তির ভাণ্ডারে মিশিয়া যায়। প্রকৃতপক্ষে, **শক্তির বিনাশ নাই, ইহার নূতন সৃষ্টিও সম্ভব নয়, শক্তি যখন এক রূপ হইতে এক বা একাধিক রূপে পরিবর্তিত হয়, তখন শক্তির পরিমাণ একই থাকে।** ইহাকে শক্তি-সংরক্ষণসূত্র বলে। বিজ্ঞানীরা মনে করেন যে, বিশ্বের মোট শক্তির পরিমাণ একই আছে। মানুষ এবং প্রকৃতি বিশ্বের এই শক্তির রূপান্তর ঘটায় মাত্র ও তাহার মাঝে মানুষ তাহার প্রয়োজনীয় কাজ করিয়া লয়।

যান্ত্রিক শক্তির ক্ষেত্রেও শক্তির এই সংরক্ষণসূত্র খাটে। সংরক্ষণশীল বলের অধীনে বস্তুর স্থিতি ও গতিশক্তির মোট পরিমাণ একই থাকে। সংরক্ষণশীল বল বলিতে আমরা সেই সমস্ত বলকে বুঝি যাহাদের দ্বারা কৃত-কার্য বস্তুর প্রকৃতি ও অবস্থানের উপর নির্ভর করে। যে সমস্ত বল বস্তুর বেগ ও অভিমুখের উপর নির্ভর করিয়া স্বতঃ পরিবর্তন করে, তাহাদের সংরক্ষণশীল বল বলা হয় না। অভিকর্ষ বল, বৈদ্যুতিক বল, চৌম্বক বল, ইত্যাদি সংরক্ষণশীল বল। কিন্তু ঘর্ষণ বল বা বায়ুর বল গতিশীল বস্তুর অভিমুখ ও গতিবেগের উপর নির্ভরশীল। ঘর্ষণের অভিমুখ পরিবর্তন করিলে ঘর্ষণ-বলের পরিবর্তন ঘটে, গাড়ীর গতিবেগ বৃদ্ধি পাইলে বায়ুর বাধা বৃদ্ধি পায়—সুতরাং এই জাতীয় বল সংরক্ষণশীল নয়।

6.12. (a) **অভিকর্ষের অধীনে পতনশীল বস্তুর গতিপথে যে কোন বিন্দুতে স্থিতি ও গতিশক্তির যোগফল সর্বদা ধ্রুবক** (The sum of the potential energy and kinetic energy at any point

throughout the motion of a body falling under gravity is constant.)

'm' ভরবিশিষ্ট একটি বস্তুকে ভূমি হইতে 'h' উচ্চতায় খাড়াভাবে A বিন্দুতে তোলা হইল (চিত্র 6.4)।



চিত্র 6.4

A বিন্দুতে থাকাকালীন বস্তুটির স্থিতিশক্তি $= mgh$ এবং ঐ বিন্দুতে বস্তুটি স্থির থাকিলে বস্তুটির গতিশক্তি $= 0$

$\therefore$ A বিন্দুতে বস্তুটির স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির মোট পরিমাণ $= mgh + o = mgh$.

এখন ধরা যাক্, বস্তুটিকে অভিকর্ষের অধীনে অবাধে পড়িতে দেওয়া হইল। পতনকালে h উচ্চতা হইতে x দূরত্ব পতনের পর B বিন্দুতে বস্তুটির বেগ যেন v হইল। B বিন্দুতে বস্তুর স্থিতি ও গতিশক্তি উভয়ই থাকিবে।

ভূমি হইতে B বিন্দুর উচ্চতা $= h - x$

$\therefore$ B বিন্দুতে বস্তুটির স্থিতিশক্তি $= mg\ (h - x)$

B ,, ,, গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv^2$.

এখন, $v^2 = u^2 + 2fs$ সমীকরণের সাহায্যে লিখিতে পারা যায়

$$v^2 = 0 + 2.gx \quad [\text{ এখানে } f = g,\ s = x\ ]$$
$$= 2gx.$$

$\therefore$ B বিন্দুতে গতিশক্তি $= \frac{1}{2}\ m\ (2gx)$
$$= mgx.$$

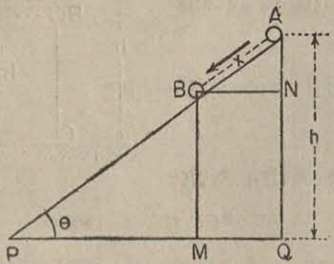
$\therefore$ B বিন্দুতে স্থিতিশক্তি + গতিশক্তি $= mg\ (h - x) + mgx$
$$= mgh - mgx + mgx$$
$$= mgh$$
$= A$ বিন্দুতে বস্তুর মোট শক্তি।

স্পষ্টতই, বস্তুটির ক্ষেত্রে m, g এবং h-এর মান নির্দিষ্ট। সুতরাং mgh ও ধ্রুবক। এই মান B বিন্দুর বিশেষ অবস্থানের উপর নির্ভরশীল নহে, গতিপথের প্রত্যেকটি বিন্দুর ক্ষেত্রে মোট যান্ত্রিকশক্তির পরিমাণ একই থাকিবে।

বস্তু যখন C বিন্দুতে ভূমি স্পর্শ করিবে এবং স্থির হইবে, তখন মোট যান্ত্রিক শক্তির পরিমাণ শূন্য হইবে। প্রকৃতপক্ষে যান্ত্রিকশক্তি তাপ, শব্দ ইত্যাদি শক্তিতে রূপান্তরিত হইবে মাত্র।

(b) **নততল বরাবর মুক্তভাবে পতনশীল বস্তুর স্থিতি ও গতিশক্তির যোগফল সর্বদা ধ্রুবক** (The sum of potential and kinetic energies of a body falling freely along an inclined plane is constant throughout the motion.)

AP একটি মসৃণ নততল, ভূমি PQ-এর সহিত θ কোণে আনত (চিত্র 6.5)। 'm' ভরের একটি বস্তু নততলের A বিন্দুতে স্থির আছে। ভূমি হইতে A বিন্দুর খাড়া উচ্চতা$=h$.



চিত্র 6.5

$\therefore$ A বিন্দুতে বস্তুটির স্থিতি-শক্তি$=mgh$

এবং গতিশক্তি$=0$

$\therefore$ মোট শক্তি$=mgh$.

এখন বস্তুটি নততল বরাবর x দূরত্ব গড়াইয়া B বিন্দুতে আসিল এবং ধরা যাক, B বিন্দুতে উহার গতিবেগ 'v' হইল।

B হইতে PQ-এর উপরে BM এবং AQ-এর উপরে BN লম্ব টানা হইয়াছে। সুতরাং ভূমি হইতে B বিন্দুর উচ্চতা=

$$\begin{aligned} BM &= NQ = AQ - AN \\ &= h - AN \\ &= h - AB \sin\theta \\ &= h - x \sin\theta. \end{aligned}$$

$\therefore$ B বিন্দুতে বস্তুটির স্থিতিশক্তি$=mg\,(h-x\sin\theta)\cdots\cdots(1)$

নততল বরাবর বস্তুর ত্বরণ$=g\sin\theta$.

সুতরাং B বিন্দুতে বস্তুটির বেগ v হইলে

$$\begin{aligned} v^2 &= 0 + 2.\,g\sin\theta.\,x. \\ &= 2\,gx\sin\theta \end{aligned}$$

$\therefore$ গতিশক্তি$=\frac{1}{2}\,m.\,2gx\sin\theta$

$$= mgx\sin\theta\cdots\cdots\cdots(2)$$

$\therefore$ B বিন্দুতে বস্তুর স্থিতিশক্তি+গতিশক্তি$=mg\,(h-x\sin\theta)+mgx\sin\theta$ [(1) এবং (2) হইতে]

$$\begin{aligned} &= mgh - mgx\sin\theta + mgx\sin\theta \\ &= mgh. \end{aligned}$$

এই মান B বিন্দুর যে-কোন অবস্থানের জন্য সত্য। সুতরাং নতভল বরাবর মুক্তভাবে পতনশীল বস্তুর স্থিতি ও গতিশক্তির যোগফল সর্বদা ধ্রুবক।

6.13. শক্তির অপচয় (Dissipation of energy) :

দেখা যাইতেছে, শক্তির যখন রূপান্তর ঘটে তখন শক্তি বিনষ্ট হয় না। কিন্তু শক্তির রূপান্তর বেশীর ভাগ ক্ষেত্রেই এমনভাবে ঘটে যে, তাহার কিছুটা অংশ আমাদের আয়ত্তের বাহিরে চলিয়া যায়। ঘর্ষণজনিত বাধা অতিক্রম করিবার জন্য প্রদত্ত শক্তির কিছুটা ব্যয় হয় এবং এই শক্তি তাপশক্তিতে পরিণত হয়। এই তাপশক্তিকে উপযোগী কার্যে পরিণত করা যায় না, ফলে, উহাকে শক্তির অপচয় বলিয়া ধরা যাইতে পারে। বায়ু বা যে-কোন তরলের মধ্যে বস্তুর গতির কালে সান্দ্রতাজনিত বাধা অতিক্রম করিতে হয়, ফলে কিছুটা শক্তি ব্যয়িত হয়। ইহাও শক্তির অপচয়ের দৃষ্টান্ত। প্রকৃতপক্ষে, প্রকৃতিতে শক্তির রূপান্তরের সময়ে কিছু-না-কিছু শক্তির অপচয় ঘটিবেই।

উদাহরণ (3) কোন বস্তুতে 1 জুল গতিশক্তি আছে। ইহাকে 1 মেগা ডাইন বল দ্বারা বাধা দেওয়া হইল। স্থির হইবার পূর্বে উহা কতদূর যাইবে? [H. S. 1964.]

উত্তর : বস্তুটিতে গতিশক্তির পরিমাণ $=1$ জুল $=10^7$ আর্গ।

উহাকে থামাইবার জন্য এই পরিমাণ কাজ গতির বিপরীতে করিতে হইবে। মনে করা যাক, স্থির হইবার পূর্বে উহা S দূরত্ব অতিক্রম করে।

এখন, প্রযুক্ত বল $=1$ মেগা-ডাইন $=10^6$ ডাইন

$\therefore$ কৃতকার্য $=10^6 \times S$ আর্গ

$\therefore \; 10^6 \times S = 10^7$

বা, $S=\frac{10^7}{10^6}$ বা **10 সে. মি.।**

প্রশ্নাবলী

1. কার্য বলিতে কি বুঝায়? বলের দ্বারা কার্য ও বলের বিরুদ্ধে কার্য বলিতে কি বুঝ? বল-সরণ লেখ দ্বারা কার্যের পরিমাণ বাহির কর।

[What does 'work' mean ? What do you understand by work done by a force and work done against a force ? Determine the amount of work done from a force-displacement graph]

2. 'ক্ষমতা' বলিতে কি বুঝ? বিভিন্ন পদ্ধতিতে কার্য ও ক্ষমতার পরম ও ব্যবহারিক এককগুলি লিখ। ব্যবহারিক এককদ্বয়ের পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[What do you mean by 'power'? Write down the absolute and practical units of work and power in different systems. Find the relation between the two practical units.]

3. 'শক্তি' বলিতে কি বুঝ? চলমান বস্তুর গতিশক্তির পরিমাপ কিরূপে করিবে? দেখাও যে, চলমান বস্তুর গতিশক্তির পরিবর্তন উহার উপর প্রযুক্ত বলের দ্বারা সম্পন্ন কার্যের সমান।

[What do you mean by 'energy'? How do you measure the Kinetic energy of a moving body? Show that the change of Kinetic energy of a moving body is equal to the work done by the force impressed on it.]

4. শক্তির রূপান্তর ও সংরক্ষণসূত্র বলিতে কি বুঝ? কোন পতনশীল বস্তুর ক্ষেত্রে স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির যোগফল সর্বদা ধ্রুবক—প্রমাণ কর।

[What do you understand by transformation of energy and law of conservation of energy. Prove that the sum of the Potential energy and the Kinetic energy is everywhere constant for a freely falling body.]

5. একটি ইঞ্জিন প্রতি মিনিটে 250 গ্যালন জল 40 গজ উঁচুতে তুলিলে, উহার অশ্ব-ক্ষমতা কত? [H.S. 1961]

[What should be the Horse-Power of an engine which is intended to pump 250 gallons of water per minute to a height of 40 yds ?] [Ans. 9·09]

6. 1 কে.জি. ভরসম্পন্ন একটি বস্তুর গতিবেগ 5 সেকেণ্ড সময়ে 5 সে.মি./সেকেণ্ড হইতে 20 সে.মি./সেকেণ্ড-এ বৃদ্ধি পাইল। বস্তুর উপর কত বল প্রযুক্ত হইল এবং ঐ পরিবর্তনের সময় বস্তুর উপর কত কার্য করা হইল নির্ণয় কর।

[H.S. 1966]

[The velocity of a body weighing 1 kg. changes from 5 cm./sec. to 20 cm./sec. in 5 seconds. Find the force acting and the work done on the body during the change.]

[Ans. 3000 dynes, 187500 ergs]

7. 25 কে.জি. ভরবিশিষ্ট কোন বস্তুকে 40 মিটার উচ্চে খাড়াভাবে তুলিলে, বস্তুটির স্থিতিশক্তি নির্ণয় কর।

[Find out the potential energy of a mass of 25 kg. raised to a height of 40 metres vertically above the ground.]

[Ans. 9810 Joules]

8. 6 স্টোন 6 পাউণ্ড ভরসম্পন্ন একটি বালক মাটি হইতে 6 ইঞ্চি উচ্চে লাফাইয়া 60 বার স্কিপিং করিল। বালকটির ব্যয়িত শক্তি কত?

[A boy weighing 6 stones 6 lbs. skips 6 inches high 60 times. What is the energy spent by the boy ?]

[Ans. 288000 ft lbs.]

———

সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান
(General Properties of Matter)
প্রথম অধ্যায়
মহাকর্ষ (Gravitation)

1.1. সূচনা (Introduction) :

মানব সভ্যতার অতি প্রাচীনকাল হইতেই দেশ-বিদেশের বহু বৈজ্ঞানিক আকাশের গ্রহ-নক্ষত্রাদি সম্বন্ধে নানা কৌতূহল প্রকাশ করিয়া আসিতেছিলেন। খ্রীষ্টীয় দ্বাদশ শতাব্দীতে ভাস্করাচার্য-রচিত সিদ্ধান্ত-শিরোমণি গ্রন্থে গ্রহ-নক্ষত্রাদির মধ্যে আকর্ষণ সম্বন্ধে নানা তথ্য লিখিত আছে।

পরবর্তীকালে কোপারনিকাস, টাইকো-ব্রেই, গ্যালিলিও, জন্ কেপ্‌লার প্রভৃতি জ্যোতির্বিদ্‌গণ নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষা ও স্বাধীন গবেষণা করিয়া সিদ্ধান্তে আসেন যে, কোন এক অজানা বলের প্রভাবে গ্রহগুলি সূর্যকে কেন্দ্র করিয়া তাহার চারিপাশে অনবরত ঘুরিতেছে। গ্রহগুলির বিচরণ পথ এবং গতি সম্পর্কে বৈজ্ঞানিক কেপ্‌লার কতকগুলি সূত্র উপস্থাপিত করেন। সেগুলি **কেপ্‌লারের সূত্র** হিসাবে পরিচিত। কেপলারের সূত্রানুসারে গ্রহগুলি উপবৃত্তাকার কক্ষপথে সূর্যকে পরিক্রমা করে এবং সূর্য ইহাদের কক্ষপথের এক নাভিতে (focus) অবস্থিত। কিন্তু কেন এবং কি ধরনের বলের প্রভাবে গ্রহগুলি সূর্যকে প্রদক্ষিণ করিতেছে, তাহা তাঁহার জানা ছিল না।

অবশেষে মহাবিজ্ঞানী স্যার আইজাক্ নিউটন সূর্য, চন্দ্র, গ্রহ-নক্ষত্রের গতিবিধি বিশেষভাবে পর্যবেক্ষণ করিয়া একটি সূত্র আবিষ্কার করেন। ইহাই নিউটনের **মহাকর্ষ সূত্র**। এই সূত্র আবিষ্কার সম্বন্ধে একটি গল্প প্রচলিত আছে। একদিন নিউটন তাঁহার গৃহসংলগ্ন বাগানে একটি আপেল গাছের নীচে বসিয়া বই পড়িতেছিলেন। এমন সময় হঠাৎ একটি আপেল গাছ হইতে মাটিতে পড়িল। তৎক্ষণাৎ তাঁহার মনে চিন্তার উদ্রেক হইল—কেন আপেলটি নীচের দিকে পড়িল? উপরের দিকেও তো উঠিতে পারিত। কোন জিনিসকে উপর হইতে ফেলিলে কেন তাহা সর্বদা ভূপৃষ্ঠেই ফিরিয়া আসে? নিশ্চয় পৃথিবী সকল বস্তুকে তাহার নিজের দিকে আকর্ষণ করে। পরে তিনি উপলব্ধি করিলেন, **এই আকর্ষণ শুধু পৃথিবী ও পার্থিব বস্তুতেই সীমাবদ্ধ নয়—এই বিশ্বের যে কোন দুটি বস্তুতেই বর্তমান**। তখনই তিনি ইহাকে একটি সূত্রের আকারে উপস্থাপিত করিলেন।

1.2. নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র (Newton's Law of Gravitation) :

এই বিশ্বের যে কোন দুইটি বস্তুকণা পরস্পরকে আকর্ষণ করে, এই আকর্ষণ বলের মান কণা দুইটির ভরের গুণফলের সমানুপাতিক এবং তাহাদের মধ্যকার দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। ইহাই নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র।

ধরা যাক্, দুইটি বস্তুর ভর যথাক্রমে m_1 ও m_2 এবং ইহাদের মধ্যকার দূরত্ব d। ইহাদের পারস্পরিক আকর্ষণ বল যদি F হয়, তবে নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রানুযায়ী,

$$F \propto m_1 m_2 \text{ এবং } F \propto \frac{1}{d^2}$$

$$\text{অর্থাৎ, } F \propto \frac{m_1 m_2}{d^2} \text{ বা } F = G\frac{m_1 m_2}{d^2} \quad \cdots\cdots\cdots(A)$$

এখানে 'G' একটি ধ্রুবক, ইহাকে বলা হয় **মহাকর্ষীয় ধ্রুবক** (constant of gravitation) এবং আকর্ষণ বল, F-কে বলা হয় **মহাকর্ষীয় বল** (Force of gravitation)।

1.2a মহাকর্ষীয় ধ্রুবক (constant of gravitation) :

$$(A) \text{ হইতে আমরা পাই, } G = \frac{Fd^2}{m_1 m_2}$$

এখন যদি $m_1 = m_2 = 1$ হয় এবং $d = 1$ হয় তবে, মহাকর্ষীয় ধ্রুবক, $G = F$, অর্থাৎ **দুইটি একক ভরকে পরস্পর হইতে একক দূরত্বে রাখিলে উহাদের ভিতরকার আকর্ষণবলই মহাকর্ষীয় ধ্রুবকের মানের সমান।** সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে ইহার মান $6{\cdot}6576 \times 10^{-8}$ অর্থাৎ দুইটি একগ্রাম ভরের বস্তুকে 1 সে. মি. দূরে রাখিলে উহারা পরস্পরের প্রতি $6{\cdot}6576 \times 10^{-8}$ ডাইন বল প্রয়োগ করিবে। কেভেণ্ডিস (Cavendish), বয়েস্ (Boys), হয়েল (Heyl) প্রমুখ বৈজ্ঞানিকগণ পরীক্ষামূলকভাবে 'G'-এর এই মান নির্ণয় করেন।

মাত্রা-সূত্র (Dimensional formula) **প্রয়োগে 'G'-এর একক নির্ণয় :**

$$(A) \text{ হইতে আমরা পাই } G = \frac{Fd^2}{m_1 m_2}$$

সি. জি. এস্.-পদ্ধতিতে F বা বলের একক ডাইনে, যাহার অর্থ গ্র্যাম-সে. মি/সেকেণ্ড², দূরত্বের একক সে. মি. এবং ভরের একক গ্র্যাম। তাহা হইলে সি. জি. এস্.-পদ্ধতিতে 'G'-এর একক হইবে।

$$G=\frac{\text{বল}\times(\text{রদূত্ব})^2}{\text{ভর}\times\text{ভর}}=\frac{\text{গ্র্যাম}-\text{সে. মি}\times\text{সে. মি.}^2}{\text{সেকেণ্ড}^2\times\text{গ্র্যাম}\times\text{গ্র্যাম}}=\frac{\text{সে. মি}^3}{\text{গ্র্যাম-সেকেণ্ড}^2}$$

অর্থাৎ $G=6{\cdot}6576\times10^{-8}$ সে. মি³/গ্র্যাম/সেকেণ্ড²।

1.2b. নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রের বিশ্বজনীনতা (Universality of Newton's law of gravitation) :

নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র কেবলমাত্র বস্তুসমূহের ভর এবং তাহাদের মধ্যবর্তী দূরত্বের উপর নির্ভরশীল। এই সূত্র মাধ্যম নিরপেক্ষ এবং বস্তুসমূহের প্রকৃতি, তাপমাত্রা ও রাসায়নিক উপাদান প্রভৃতির উপর নির্ভরশীল নয়। ফলে এই সূত্র পার্থিব ক্ষুদ্রতম দূরত্ব ও ক্ষুদ্রতম বস্তু হইতে মহাকাশের দুস্তর নাক্ষত্রিক দূরত্ব ও বৃহত্তম নক্ষত্রসমূহের ক্ষেত্রেও সমভাবে প্রযোজ্য। সকল ক্ষেত্রে পরীক্ষামূলক প্রমাণ সম্ভবপর না হইলেও এই সূত্রের সাহায্যে বিভিন্ন জ্যোতিষ্কমণ্ডলীর সম্বন্ধে নানা গণনা অভ্রান্ত বলিয়া প্রমাণিত হইয়াছে। তাছাড়া, এই সূত্রের প্রয়োগে সূর্যের চতুর্দিকে গ্রহগুলির গতিবিধির নির্ভুল ব্যাখ্যা করা সম্ভবপর হইয়াছে। এই সব কারণে নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রকে বিশ্বজনীন * বলিয়া গণ্য করা হয়।

1.3. অভিকর্ষ ও অভিকর্ষজ ত্বরণ (Gravity and Acceleration due to gravity) :

নিউটনের সূত্রানুযায়ী, পৃথিবী এবং ইহার উপর বা কাছাকাছি অন্য কোন বস্তুর মধ্যে আকর্ষণ হইবে। এই আকর্ষণের নাম **অভিকর্ষ** (gravity)। বস্তুতঃ অভিকর্ষ মহাকর্ষের একটি বিশেষ ক্ষেত্র (Special case)। এই অভিকর্ষের ফলেই গাছ হইতে ফল পড়িলে পৃথিবীর উপরেই পড়ে। মহাকর্ষের নিয়মানুযায়ী পৃথিবী এবং ফল উভয়েই উভয়কে আকর্ষণ করে। কিন্তু পৃথিবীর ভর বস্তুর ভর অপেক্ষা অনেকগুণ বেশী ; সেজন্য পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকেই বস্তু

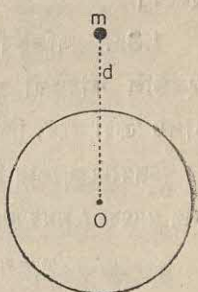
---

* এই সূত্রের বিশ্বজনীনতার ব্যতিক্রম দেখা যায় সূর্যের নিকটবর্তী অঞ্চলে যেখানে সূর্যের আকর্ষণ অত্যন্ত প্রবল। তাছাড়া আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্ববাদ অনুযায়ী গতিবেগের উপর বস্তুর ভর নির্ভরশীল এবং পর্যবেক্ষকের স্থিতির উপর দূরত্বের পরিমাপ নির্ভরশীল। সেজন্য এই সূত্রকে সম্পূর্ণভাবে বিশ্বজনীন আখ্যা দেওয়া চলে না। আন্তরাণবিক দূরত্বের মত অতি ক্ষুদ্র দূরত্বের (10^{-8} সে. মি. বা তারও কম) বেলায় ও এই সূত্র খাটে না।

যায়, পৃথিবী বস্তুটির দিকে যায় না। সমস্ত পার্থিব বস্তুকেই পৃথিবী আকর্ষণ করে এবং এই আকর্ষণ বলই অভিকর্ষীয় বল (Force of gravity)।

আবার নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র ($P=mf$) হইতে আমরা জানি যে, কোন বস্তুর উপর কোন বল ক্রিয়া করিলে বস্তুটির গতি বলের অভিমুখে বাড়িয়া যায়, অর্থাৎ, একটি ত্বরণ (acceleration) সৃষ্টি হয়। সুতরাং অভিকর্ষ বলের ক্রিয়ায় যখন কোন বস্তু পৃথিবীর দিকে পড়ে তখন তাহারও একটি ত্বরণ হয়। এই ত্বরণকে বলা হয় **অভিকর্ষজ ত্বরণ** (acceleration due to gravity) এবং ইহা সাধারণত 'g' অক্ষর দ্বারা সূচিত হয়।

ধরা যাক, পৃথিবীর ভর M এবং বস্তুটির ভর 'm'। পৃথিবীর কেন্দ্রবিন্দু (চিত্র 1.1) হইতে বস্তুটি 'd' দূরত্বে আছে। এখন বস্তুটিকে ছাড়িয়া দিলে উহা পৃথিবীর আকর্ষণের প্রভাবে পৃথিবী পৃষ্ঠের দিকে 'g' ত্বরণ-সহ ধাবিত হইবে। পৃথিবী এবং বস্তুর মধ্যে এই আকর্ষণ বল, F হইলে নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রানুযায়ী,



$$F=G\frac{Mm}{d^2}$$

চিত্র 1.1

এক্ষেত্রে পৃথিবীর সমস্ত ভরকে উহার কেন্দ্রবিন্দুতে একত্রীভূত কল্পনা করিতে হইবে।

আবার নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র হইতে আমরা জানি, $F=mg$ বা

$$g=\frac{F}{m}$$

অর্থাৎ, বস্তুর ত্বরণ, $g=\frac{\text{বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল}}{\text{বস্তুর ভর}}=\frac{GMm}{d^2}\bigg/m=\frac{GM}{d^2}$

অনুরূপে, পৃথিবী বস্তুটির দিকে অগ্রসর হইলে, পৃথিবীর ত্বরণ

$$=\frac{\text{পৃথিবীর উপর প্রযুক্ত বল}}{\text{পৃথিবীর ভর}}=\frac{GMm}{d^2}\bigg/M=\frac{Gm}{d^2}$$

যেহেতু $m<<M$, বস্তুর ত্বরণ পৃথিবীর ত্বরণ অপেক্ষা বহুগুণ বেশী হইবে এবং সেজন্যই বস্তুটিই পৃথিবীর দিকে ধাবিত হইবে—পৃথিবী বস্তুটির দিকে যাইবে না।

আবার, $g=\frac{GM}{d^2}$ হইতে দেখা যায় $g\propto\frac{1}{d^2}$, কারণ G এবং M স্থিররাশি ;- অর্থাৎ কোন স্থানে 'g'-এর মান পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে সেই স্থানের দূরত্বের

বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। ফলে বিভিন্ন জায়গায় 'g'-এর মান বিভিন্ন হয়। তবে মোটামুটিভাবে ইহার গড়মান সি. জি. এস্.-পদ্ধতিতে 981 সে. মি./সেকেণ্ড^2 এবং এফ. পি. এস্.-পদ্ধতিতে 32 ফুট/সেকেণ্ড^2।

লক্ষ্য করিবার বিষয়, কোন স্থানে 'g'-এর মান $\left(=\frac{GM}{d^2}\right)$ বস্তুটির ভরের (m) উপর নির্ভর করিতেছে না। অর্থাৎ বস্তুট ছোট বা বড়, ভারী বা হাল্কা যাহাই হউক না কেন, সেই নির্দিষ্ট স্থানে 'g'-এর মান সকল বস্তুর বেলাতেই সমান। ইহার অর্থ কোন নির্দিষ্ট স্থানে সকল বস্তু সমান দ্রুততায় নিম্নাভিমুখী হইবে।

1.3a. অভিকর্ষজ ত্বরণের অধীন বস্তুর ক্ষেত্রেও গতিবিদ্যা-সম্পর্কিত সূত্রগুলি কার্যকরী হয়। প্রকৃতপক্ষে এইরূপ বস্তুসমূহের ক্ষেত্রে বাতাসের চাপও ক্রিয়া করে, কিন্তু তাহা অত্যন্ত অল্প বলিয়া উপেক্ষা করা যায়।

উল্লম্বদিকে নিম্নে নিক্ষিপ্ত বস্তুর ক্ষেত্রে সরণ h, ত্বরণ g, সময় t, প্রাথমিক বেগ u এবং t সময় অন্তে বেগ v ধরিলে আনুষঙ্গিক সূত্রগুলি হইবে,

$$v=u+gt$$
$$h=ut+\tfrac{1}{2}gt^2$$
এবং $$v^2=u^2+2gh$$

অনুরূপে, ঊর্ধ্বমুখে উৎক্ষিপ্ত বস্তুসমূহের ক্ষেত্রে সমীকরণগুলি বাহির করিতে 'g'-কে ঋণাত্মক ধরিয়া লেখা হয়। সেক্ষেত্রে সমীকরণগুলি হইবে,

$$v=u-gt$$
$$h=ut-\tfrac{1}{2}gt^2$$
এবং $$v^2=u^2-2gh$$

(i) **ঊর্ধ্বে উৎক্ষিপ্ত বস্তুর সর্বাধিক উচ্চতা নির্ণয় :** উৎক্ষেপ বেগ যেখানে শূন্যমানে পৌঁছায় সেই বিন্দুর উচ্চতাই সর্বাধিক।

সুতরাং $v^2=u^2-2gh$ সূত্রে $v=o$ লিখিলে h-এর মানই সর্বাধিক উচ্চতা নির্দেশ করিবে।

$$\therefore\ 'o'=u^2-2gh \text{ হইতে,}$$

$$\mathbf{h}=\frac{\mathbf{u}^2}{\mathbf{2g}}$$

(ii) **সমগ্র উৎপতনকাল নির্ণয় :** উৎক্ষিপ্ত বস্তু সর্বাধিক উচ্চতা আরোহণের পর নিচে নামিতে থাকে এবং শেষ পর্যন্ত উৎক্ষেপ-বিন্দুতে ফিরিয়া আসে।

কাজেই $h=ut-\frac{1}{2}gt^2$ সূত্রে $h=0$ বসাইলে t-এর মান পাওয়া যাইবে,

অর্থাৎ $0=ut-\frac{1}{2}gt^2$ বা, $t\left(u-\frac{gt}{2}\right)=0$

এখানে হয় $t=0$, না হয় $t=\frac{2u}{g}$ হইতে হইবে

এখানে $t=0$ মান উৎক্ষেপ মুহূর্তকে নির্দেশ করে। সুতরাং সমগ্র উৎপতনকালের মান $t=\frac{2u}{g}$

1.4. পতনশীল বস্তুর সূত্র (Laws of falling bodies) :

1589 খ্রীষ্টাব্দে গ্যালিলিও পিসার-হেলানো মিনার হইতে বিভিন্ন পদার্থের ছোট-বড় কয়েকটি বস্তু ছাড়িয়া দিয়া দেখান যে, উহারা প্রায় একই সঙ্গে মাটিতে পড়ে। পতনশীল বস্তুগুলির পতনের কয়েকটি বিশেষ ধর্ম লক্ষ্য করিয়া তিনি তিনটি সূত্র আবিষ্কার করেন। সূত্রগুলি নিম্নরূপ :

স্থির অবস্থান হইতে বিনা বাধায় নীচে পড়িতে থাকিলে (i) সকল বস্তু সমান দ্রুততায় নিম্নাভিমুখী হইবে, অর্থাৎ সমান সময়ে সমান পথ অতিক্রম করিবে, (ii) নির্দিষ্ট সময়ে বস্তুর যে বেগ উৎপন্ন হয়, তাহা ঐ সময়ের সমানুপাতিক, (iii) নির্দিষ্ট সময়ে বস্তুটি যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা ঐ সময়ের বর্গের সমানুপাতিক।

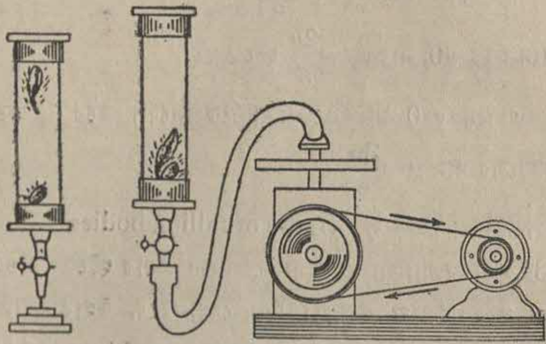
গ্যালিলিওর সূত্র তিনটির প্রথমটিকে আপাতদৃষ্টিতে আমাদের সাধারণ অভিজ্ঞতার পরিপন্থী মনে হয়—কেননা, আমরা দেখি যে, একই উচ্চতা হইতে নীচে ফেলিলে ভারী বস্তুটিই আগে মাটিতে পড়ে, হাল্কা বস্তু দেরীতে পড়ে। ইহার কারণ, বায়ুর ঘর্ষণজনিত বাধা ভারী বস্তু অপেক্ষা হাল্কা বস্তুর উপর অনেক বেশী কার্যকরী হয়। বাত-পাম্প আবিষ্কৃত হওয়ার পর 1650 খ্রীষ্টাব্দে নিউটন তাঁহার প্রসিদ্ধ গিনি ও পালকের পরীক্ষার সাহায্যে গ্যালিলিওর প্রথম সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ করেন।

1.4a. পতনশীল বস্তুর সূত্রসমূহের প্রমাণ (Verification of the laws of falling bodies) :

গিনি ও পালকের পরীক্ষা :

(i) প্রথম সূত্রের প্রমাণ—একটি এক মিটার লম্বা মোটা ফাঁপা কাচের নলের একমুখ বন্ধ ও অন্যমুখে একটা স্টপ্-কক্ লাগানো আছে (চিত্র 1.2)। ইহার মধ্যে একটি গিনি ও পালক আছে। নলটিকে হঠাৎ উল্টাইয়া দিলে দেখা যাইবে যে, পালকটির আগেই গিনিটি পড়িতেছে। এখন পাম্পের সাহায্যে

নলটির ভিতরের বাতাস বাহির করিয়া দিয়া নলটিকে উল্টাইয়া দিলে দেখা যাইবে যে, গিনি ও পালক উভয়েই একসঙ্গে নীচে পড়িবে। প্রথম ক্ষেত্রে



চিত্র 1.2

বাতাসের বাধায় পালকটির গতি বেশী প্রতিহত হয়। ফলে পালকটির আগেই গিনিটি নীচে পড়ে।

নিউটনের এই পরীক্ষায় প্রমাণিত হইল যে, একই স্থানে সকল পতনশীল বস্তুই সমত্বরণে পৃথিবীপৃষ্ঠে পড়ে।

(ii) পতনশীল বস্তুর দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী, বস্তুটির কোন এক সময়ে অর্জিত বেগ সেই সময়ের সমানুপাতিক; অর্থাৎ বস্তুটির কোন নির্দিষ্ট সময় t_1-এ যদি বেগ v_1 হয় এবং t_2 সময়ে যদি বেগ v_2 হয় তবে—

$$\frac{v_1}{t_1}=\frac{v_2}{t_2}=\cdots\cdots \text{ইত্যাদি হইবে।}$$

উদাহরণস্বরূপ কোন বস্তুর পতনকালের এক সেকেণ্ড পরে যদি বেগ 10 সে. মি./সে. হয় তবে দুই সেকেণ্ড পরে ইহার বেগ 20 সে. মি./সে., তিন সেকেণ্ড পরে 30 সে. মি./সে. এইরূপ হইবে।

(iii) পতনশীল বস্তুর তৃতীয় সূত্রানুসারে, বস্তুর কোন দূরত্ব অতিক্রম করিতে যে সময় লাগে, সেই দূরত্ব সেই সময়ের বর্গের সমানুপাতিক হইবে; অর্থাৎ যদি পতনশীল বস্তুটির h_1 দূরত্ব অতিক্রম করিতে t_1 সময় লাগে এবং h_2 দূরত্ব অতিক্রম করিতে t_2 সময় লাগে, তবে—

$$\frac{h_1}{t_1^2}=\frac{h_2}{t_2^2}=\cdots\cdots \text{ইত্যাদি হইবে।}$$

এক্ষেত্রে বস্তুটি এক সেকেণ্ডে 2 মিটার পড়িলে, দুই সেকেণ্ডে $2^2\times2=8$ মিটার এবং তিন সেকেণ্ডে $3^2\times2=18$ মিটার পড়িবে।

পরীক্ষা : পতনশীল বস্তুর দ্বিতীয় ও তৃতীয় সূত্রদ্বয় বস্তুতপক্ষে অনুরূপ বস্তুর গতিসম্বন্ধীয় সূত্রের ($v=u+gt$ এবং $h=ut+\frac{1}{2}gt^2$) নামান্তর। কোন পতনশীল বস্তুর বিভিন্ন উচ্চতায় পতনের সময় ষ্টপ্-ঘড়ির সাহায্যে মাপিয়া তৃতীয় সূত্রের সাহায্যে সেই স্থানের 'g'-এর মান সহজেই নির্ণয় করা যায়

$$\left(g=\frac{h_1}{\frac{1}{2}t_1^2}=\frac{h_2}{\frac{1}{2}t_2^2}=\cdots\cdots \text{ইত্যাদি, কারণ } u=0 \right)।$$

উদাহরণ (Examples) **:**

(1) কোন বস্তু স্থিরাবস্থা হইতে নীচের দিকে ছাড়িয়া দেওয়া হইল এবং 4·5 সেকেণ্ড পরে উহার গতিবেগ 44·1 মিটার/সেকেণ্ড হইল। ইহার অভিকর্ষজ ত্বরণ ও বস্তুটি কতখানি নীচে নামিল বাহির কর।

উত্তর : এক্ষেত্রে $u=0$, $t=4·5$ সেকেণ্ড, $v=44·1$ মিটার/সে, বা 4410 সে. মি./সে.।

$h=?$; $g=?$

বস্তুটি নিম্নাভিমুখী বলিয়া, $v=u+gt$

$\therefore \quad 4410=0+g.\,4·5$

$\therefore \quad g=$ **980 সে. মি./সেকেণ্ড^2**

আবার, $h=ut+\frac{1}{2}gt^2$ হইতে

$h=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}.980.(4·5)^2$ সে. মি.

$=9922·5$ সে. মি. বা, **99·225 মিটার।**

(2) স্থিরাবস্থা হইতে বিনা বাধায় পড়িতে থাকিলে কোন বস্তু 3 সেকেণ্ডে 27 মিটার নামে এবং ঐ সময় উহার বেগ 15 মিটার/সেকেণ্ড হয়। 7 সেকেণ্ড বাদে উহার বেগ কত হইবে এবং উহা কত দূরত্ব অতিক্রম করিবে?

উত্তর : এখানে, $v_1=15$ মিটার/সেকেণ্ড, $t_1=3$ সেকেণ্ড, $t_2=7$ সেকেণ্ড, $h_1=27$ মিটার, $v_2=?$ $h_2=?$

এখন পতনশীল বস্তুর দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী, $\frac{v_1}{t_1}=\frac{v_2}{t_2}$

$\therefore \frac{15}{3}=\frac{v_2}{7}$ বা $v_2=$ **35 মিটার/সেকেণ্ড।**

আবার, পতনশীল বস্তুর তৃতীয় সূত্রানুযায়ী, $\frac{h_1}{t_1^2}=\frac{h_2}{t_2^2}$

$\therefore \frac{27}{3^2}=\frac{h_2}{7^2}$ বা $h_2=$ **147 মিটার।**

1.5. 'g'-এর মানের পরিবর্তন (Variation of the value of 'g') :

পূর্বেই বলা হইয়াছে কোন নির্দিষ্ট স্থানে সকল বস্তুর উপরই 'g'-এর প্রভাব এক। অর্থাৎ সেইস্থানে 'g'-এর একটি নির্দিষ্ট মান থাকে। পৃথিবীর বিভিন্ন জায়গায় 'g'-এর মান বিভিন্ন হয়। বস্তুত, চারটি কারণে 'g'-এর মানের পরিবর্তন হইতে পারে। সেইগুলি এখন আলোচনা করা হইল।

(i) পৃথিবীর অসম আকৃতির দরুণ :

পৃথিবীর আকার সম্পূর্ণ গোল নহে, ইহা উত্তর-দক্ষিণে কিছুটা চাপা। ফলে পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে মেরুর দূরত্ব বিষয়রৈখিক দূরত্ব অপেক্ষা কিছুটা কম (প্রায় 13 মাইল)। আমরা 1·3 অনুচ্ছেদে দেখিয়াছি যে, পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে কোন স্থানের দূরত্ব বাড়িলে 'g'-এর মান কমিবে $\left(\because g=\frac{GM}{d^2}\right)$। অতএব বিষুবরেখায় '$g$'-এর মান সর্বনিম্ন (978·0 সে. মি./সেকেণ্ড^2 বা 32·08 ফুট/সেকেণ্ড^2) এবং মেরুপ্রান্তে সর্বাধিক (983·2 সে. মি./সেকেণ্ড^2 বা 32·36 ফুট/সেকেণ্ড^2) হইবে ; বিষুবরেখা হইতে মেরুর দিকে অগ্রসর হইলে 'g'-এর মান ধীরে ধীরে বাড়িবে।

(ii) পৃথিবীর দৈনিক ঘূর্ণনের দরুণ :

পৃথিবী তাহার নিজ অক্ষের (উত্তর-দক্ষিণে) চারিদিকে পশ্চিম হইতে পূর্বদিকে দিনে একবার প্রদক্ষিণ করে। পৃথিবীর এই ঘূর্ণনের ফলে পৃথিবী-পৃষ্ঠস্থ বস্তুসমূহের উপর একটি বহির্মুখী বা অপকেন্দ্র বল (centrifugal force) ক্রিয়া করে। বস্তুর অভিকর্ষীয় বলের কিছু অংশ তখন বস্তুর অপকেন্দ্র বলকে প্রশমিত করিতে ব্যয়িত হয়। ফলে উহার অভিকর্ষজ ত্বরণ প্রকৃত মান অপেক্ষা কিছু কমিয়া যায়। পৃথিবীর এইরূপ ঘূর্ণনের ফলে বিষুবরৈখিক অঞ্চলের ঘূর্ণনগতি মেরু অঞ্চল অপেক্ষা অনেক গুণ বেশী অর্থাৎ বিষুবরেখার এই অপকেন্দ্র বলের মান মেরু অঞ্চল অপেক্ষা অনেক বেশী। সেইজন্য বিষুবরৈখিক অঞ্চলে 'g'-এর মান এবং ফলত অভিকর্ষীয় বল মেরু অঞ্চল অপেক্ষা কম।

(iii) পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে বস্তুর উচ্চতার দরুণ :

ধরা যাক কোন বস্তু পৃথিবীপৃষ্ঠ বা সমুদ্রতল হইতে h খাড়া উচ্চতায় আছে। যদি পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে সেই স্থানের পৃথিবীপৃষ্ঠের দূরত্ব R হয় (অর্থাৎ পৃথিবী গোলাকার ধরিলে পৃথিবীর ব্যাসার্ধ, R) তবে পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে

বস্তুটির দূরত্ব হইবে $R+h$। যদি ঐস্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণ g' হয় সেক্ষেত্রে 2·2 অনুচ্ছেদ অনুসারে,

$$g'=G\frac{M}{(R+h)^2} \text{ এবং } g=G\frac{M}{R^2}$$

$$\therefore \quad g'<g \text{ (কারণ } R+h>R \text{).}$$

$$\text{এবং} \quad g/g'=\frac{(R+h)^2}{R^2}=\left(1+\frac{h}{R}\right)^2=1+\frac{2h}{R}+\frac{h^2}{R^2}=1+\frac{2h}{R}$$

$$\left(\frac{h^2}{R^2} \text{ খুব ছোট বলিয়া}\right)$$

$$\text{বা,} \quad g'/g=\frac{1}{1+\frac{2h}{R}}=\left(1+\frac{2h}{R}\right)^{-1}=1-\frac{2h}{R}$$

$$\text{বা,} \quad g'=g\left(1-\frac{2h}{R}\right)$$

অর্থাৎ পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে যত উপরে উঠা যাইবে ততই g-এর মান কমিবে।

উদাহরণ (Examples) :

(1) ভূপৃষ্ঠ হইতে কত উচ্চে কোন বস্তুর উপর অভিকর্ষজ ত্বরণের মান উহার ভূপৃষ্ঠস্থ অভিকর্ষজ ত্বরণের 0·01 শতাংশ হইবে ? (পৃথিবীর ব্যাসার্ধ= $6{\cdot}38\times10^8$ সে.মি.)

উত্তর : ধরা যাক্, নির্ণেয় উচ্চতা, h সে. মি. এবং ঐস্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান g'। যদি ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ g হয় তবে,

$$g=G\frac{M}{R^2} \text{ এবং } g'=G\frac{M}{(R+h)^2} \text{ (} M=\text{পৃথিবীর ভর)}$$

$$\therefore \quad \frac{g'}{g}=\frac{R^2}{(R+h)^2}=\frac{0{\cdot}01}{100}=\frac{1}{10000}$$

$$\text{বা,} \quad \left(\frac{R}{R+h}\right)^2=\left(\frac{1}{100}\right)^2, \text{ বা } \frac{R}{R+h}=\frac{1}{100}$$

$$\text{বা,} \quad h=99R=99\times6{\cdot}38\times10^8 \text{ সে.মি.}$$

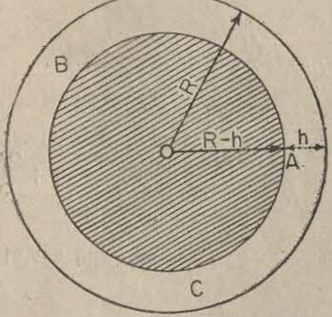
$$=6{\cdot}3162\times10^{10} \text{ সে.মি.}$$

$$=\mathbf{6{\cdot}32\times10^5} \text{ **কিলোমিটার** (প্রায়)।}$$

(iv) পৃথিবীর অভ্যন্তরে বস্তুর অবস্থানের দরুণ :

ধরা যাক্, কোন বস্তু (ভর, m) পৃথিবীর অভ্যন্তরে পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে h দূরত্বে A অবস্থানে আছে (চিত্র 1.3) অর্থাৎ বস্তুটি পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে

$R-h$ (R, পৃথিবীর ব্যাসার্ধ) দূরত্বে অবস্থিত। এক্ষেত্রে প্রমাণ করা যায় যে, বস্তুটির উপর একমাত্র $R-h$ ব্যাসার্ধের আভ্যন্তরীণ গোলকই (ABC) কার্যকরী অভিকর্ষীয় বল প্রয়োগ করিবে, বস্তুটির বাহিরের ফাঁপা গোল-খোলক কোন অভিকর্ষীয় বল প্রয়োগ করিবে না। ধরা যাক আভ্যন্তরীণ গোলকের ভর M' এবং বস্তুটির উপর ইহার অভিকর্ষজ ত্বরণ g'। অতএব 2·2 অনুচ্ছেদ হইতে বলিতে পারি,



চিত্র 1.3

$$g'=G\frac{M'}{(R-h)^2}=G\frac{\frac{4}{3}\pi(R-h)^3\rho}{(R-h)^2}$$

(কারণ আভ্যন্তরীণ গোলকের ভর M'=ইহার আয়তন $V_1\times$ঘনত্ব ρ। আবার, আয়তন $V'=\frac{4}{3}\pi(R-h)^3$ এবং ρ=পৃথিবীর গড় ঘনত্ব)।

অতএব, $g'=G.\frac{4}{3}\pi(R-h)\rho.$

অনুরূপে, বস্তুটি পৃথিবীপৃষ্ঠে থাকিলে,

$$g=G\frac{M}{R^2}=G.\frac{\frac{4}{3}\pi R^3.\rho}{R^2}=G.\frac{4}{3}\pi R.\rho$$

$$\therefore\quad g'/g=\frac{R-h}{R}=1-\frac{h}{R},\ \text{বা}\ g'=g\left(1-\frac{h}{R}\right)$$

$\therefore$ এক্ষেত্রেও, $g'<g$, অর্থাৎ, পৃথিবীর অভ্যন্তরে গভীরতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গেও g-এর মান কমিয়া যাইবে। অবশেষে বস্তুটিকে যদি পৃথিবীর কেন্দ্রে লইয়া যাওয়া হয় তখন $R=h$। অতএব সেখানে $g'=0$ অর্থাৎ পৃথিবীর কেন্দ্রে বস্তুটির কোন অভিকর্ষজ ত্বরণ থাকিবে না।

উদাহরণ (Example) :

(1) একটি খাদের তলদেশে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান ও ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের অনুপাত $\frac{799}{800}$। খাদের গভীরতা কত? (পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $=6{\cdot}38\times10^8$ সে.মি.)।

উত্তর : আমরা জানি, $\frac{g'}{g}=1-\frac{h}{R}$ (R=পৃথিবীর ব্যাসার্ধ)।

$$\text{অতএব,}\quad \frac{799}{800}=1-\frac{h}{6\cdot38\times10^8}$$

$$\text{বা}\quad \frac{h}{6\cdot38\times10^8}=1-\frac{799}{800}=\frac{1}{800}$$

$$\text{বা}\quad h=\frac{6\cdot38\times10^8}{800}\ \text{সে. মি.}$$

$$=7\cdot98\times10^5\ \text{সে. মি.}$$

$$=7\cdot98\ \text{কিলোমিটার।}$$

1.5a. ভার (Weight) :

কোন বস্তু হাতের উপর রাখিলে আমরা হাতে একটা নিম্নাভিমুখী বল অনুভব করি। বস্তুর উপর প্রযুক্ত এই বলই পৃথিবীর অভিকর্ষীয় বল এবং ইহাই বস্তুর ভার বা ওজন। অতএব ভারের সংজ্ঞা হইল :

কোন বস্তুর উপর পৃথিবী মোট যে অভিকর্ষীয় বল প্রয়োগ করে তাহাই হইল বস্তুর ভার বা ওজন।

অতএব m ভরযুক্ত বস্তুর ভার W হইলে 1·3 অনুচ্ছেদ হইতে বলিতে পারি,

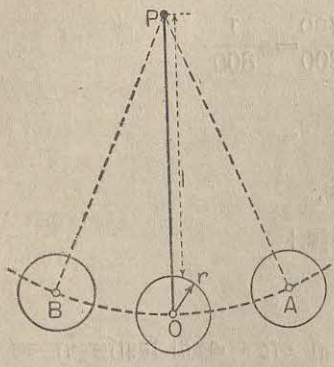
$$W=F=mg.$$

যে সব কারণে অভিকর্ষজ ত্বরণের (g) মান পরিবর্তিত হয় (অনুচ্ছেদ 1·5) সেই সব কারণেই বস্তুর ভার বা ওজনের পরিবর্তন হইবে। অর্থাৎ একই বস্তুর ওজন ভূপৃষ্ঠ অপেক্ষা পর্বতের চূড়ায় কম হইবে, বিষুবরৈখিক অঞ্চল অপেক্ষা মেরুঅঞ্চলে বেশী হইবে ইত্যাদি। তাছাড়া বস্তুটিকে গ্রহান্তরে বা চন্দ্রে লইয়া গেলেও ইহার ওজনের তারতম্য হইবে, কারণ অন্যান্য গ্রহ বা চাঁদের ভর পৃথিবীর ভর অপেক্ষা ভিন্ন হওয়ায় বস্তুর উপর উহাদের অভিকর্ষীয় আকর্ষণও ভিন্ন হইবে।

1.6. সরল দোলক (Simple Pendulum) :

একখণ্ড ভারহীন, অপ্রসার্য (inextensible) ও অস্থিতিস্থাপক সূতার একপ্রান্ত কোন স্থির অবলম্বনের সহিত বাঁধিয়া, ইহার অন্যপ্রান্তে একটি ভারী বস্তুকণা ঝুলাইয়া দিলে একটি আদর্শ সরল দোলক তৈয়ারী হয়। আদর্শ সরল দোলক দুলিবার সময় কোন ঘর্ষণজনিত বাধা পাইবে না।

আদর্শ সরল দোলকের কল্পনা কেবলমাত্র কতকগুলি গাণিতিক সুবিধার জন্য, কেননা এই সমস্ত শর্ত পালন করিয়া কার্যক্ষেত্রে কোন দোলক তৈয়ারী করা সম্ভব নয়। কারণ সম্পূর্ণ ভারহীন ও অস্থিতিস্থাপক সূতা পাওয়া সম্ভব নয়, তাছাড়া, কোন বস্তুকণার অস্তিত্ব কল্পনা মাত্র। সেজন্য বাস্তবক্ষেত্রে একগাছা হাল্কা ও অপ্রসার্য সূতার একপ্রান্ত কোন স্থির অবস্থানের সঙ্গে বাঁধিয়া অন্যপ্রান্তে একটি ছোট ভারী বস্তু ঝুলাইয়া একটি সরল দোলক তৈয়ারী করা হয়।



চিত্র 1.4

এইরূপ একটি সরল দোলককে একটু একপাশে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে দোলকটি সরল দোলগতিতে [Simple harmonic motion] (কম্পন ও তরঙ্গ—প্রথম অধ্যায়) অগ্র-পশ্চাৎ দুলিতে থাকিবে (চিত্র 1.4)।

ধরা যাক্, স্বাভাবিক অবস্থায় দোলকটির অবস্থিতি PO। P বিন্দুটিকে বলা হয় দোলকটির **বিলম্বনবিন্দু** (point of suspension) এবং দোদুল্যমান বস্তুটিকে বলা হয় **দোলক-পিণ্ড** (bob)। P বিন্দু হইতে পিণ্ডের কেন্দ্রবিন্দু বা ভারকেন্দ্র পর্যন্ত দৈর্ঘ্যকে বলা হয় **দোলক দৈর্ঘ্য** বা **কার্যকর দৈর্ঘ্য** (effective length)। যদি সূতার দৈর্ঘ্য l এবং পিণ্ডের ব্যাসার্ধ r হয় তবে কার্যকর দৈর্ঘ্য$=l+r$ (চিত্র 1.4)। দোদুল্যমান অবস্থায় পিণ্ডটি AOB পথে দক্ষিণে ও বামে দুলিতেছে। এই অবস্থায় A বিন্দু (বা যে-কোন বিন্দু) হইতে B বিন্দুতে গিয়া পুনরায় A বিন্দুতে (বা সেই দিকে সেই বিন্দুতে) ফিরিয়া আসিতে দোলকের যে সময় লাগে তাহাকে দোলকের **দোলন-কাল** (period of oscillation) বলে এবং এইরূপ দোলনকে **পূর্ণ দোলন** (complete oscillation) বলে।

স্থির অবস্থান হইতে দক্ষিণে বা বামে পিণ্ডের চরম অবস্থানের দূরত্বকে **বিস্তার** (amplitude) বলে।

চিত্রে দোলকের **রৈখিক বিস্তার** (linear amplitude) OA অথবা OB। এছাড়া, দোলকটির **কৌনিক বিস্তার** (angular amplitude) অর্থে $\angle OPA$ বা $\angle OPB$ কোণকে বুঝায়।

এক সেকেণ্ড সময়ে দোলকটি যে কয়বার পূর্ণ দোলন সমাপ্ত করে তাহাকে দোলকের **কম্পাঙ্ক** (frequency) বলে।

যদি দোলকটির দোলনকাল, T এবং কম্পাঙ্ক n হয়, অর্থাৎ এক সেকেণ্ডে দোলকটি n বার পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করে তবে, $T=\frac{1}{n}$ বা, $nT=1$.

1.6a. সরল দোলকের সূত্রাবলী (Laws of simple pendulum) :

সরল দোলক কয়েকটি নিয়ম মানিয়া চলে। গ্যালিলিও সর্বপ্রথম এইগুলি লক্ষ্য করেন এবং কয়েকটি সূত্রের সাহায্যে সেগুলি প্রকাশ করেন। এই-গুলিকে দোলকের সূত্র বলে। সূত্রগুলি নিম্নরূপ :—

(i) **সমকাল সূত্র** (Law of isochronism) : কৌনিক বিস্তার 4°-এর কম হইলে সকল ক্ষেত্রেই দোলকের দোলনকাল সমান থাকে।

(ii) **দৈর্ঘ্য সূত্র** (Law of Length) : নির্দিষ্ট স্থানে নির্দিষ্ট দোলকের দোলনকাল দোলকদৈর্ঘ্যের বর্গমূলের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ দোলক দৈর্ঘ্য l এবং দোলনকাল T হইলে সূত্রানুযায়ী, $T\propto\sqrt{l}$

(iii) **ত্বরণের সূত্র** (Law of acceleration due to gravity) : দোলকদৈর্ঘ্য একই থাকিলে দোলকের দোলনকাল অভিকর্ষজ ত্বরণের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক হইবে।

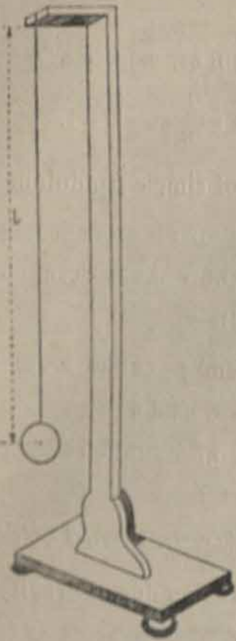
অর্থাৎ, $T\propto\frac{1}{\sqrt{g}}$

(iv) **ভরের সূত্র** (Law of mass) : কার্যকর দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত থাকিলে কোন স্থানে দোলকের দোলনকাল দোলকপিণ্ডের ভর, আকার বা উপাদানের উপর নির্ভর করে না। অর্থাৎ পিণ্ড ছোট বা বড়, তামা কিংবা লোহার, গোল বা চ্যাপ্টা যাহাই হউক না কেন, দোলকদৈর্ঘ্য একই থাকিলে ঐস্থানে দোলনকাল অপরিবর্তিত থাকিবে।

1.6b. দোলকের সূত্রগুলির সত্যতা নিরূপণ (Experimetal verification of the laws of pendulum) :

প্রথম সূত্র : একটি সরল দোলক তৈয়ারী করিয়া উহাকে দোলাও (চিত্র 1.5)। লক্ষ্য রাখিবে যেন পিণ্ডটি একটি ছোট বৃত্তীয় চাপে দোলে, অর্থাৎ উহার কৌণিক বিস্তার বেশী না হয় এবং উহা লাট্টুর মত না ঘোরে। একটি ষ্টপ্-ঘড়ির সাহায্যে এখন উহার 25 বার পূর্ণ দোলনের সময় বাহির

কর। ঐ সময়কে 25 দিয়া ভাগ করিলে এক পূর্ণ দোলনের সময় পাওয়া যাইবে। দোলকটির বিভিন্ন বিস্তারে (4°র অনধিক) অনুরূপভাবে কয়েকবার দোলকটির দোলনকাল নির্ণয় কর। দেখিবে যে, দোলনকাল সবসময় একই হইতেছে। ইহাই প্রথম সূত্রের প্রমাণ।



চিত্র 1.5

দ্বিতীয় সূত্র ঃ একটি স্কেলের সাহায্যে দোলকটির সূতার দৈর্ঘ্য এবং স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে পিণ্ডটির ব্যাসার্ধ মাপ। এই দুইয়ের যোগফল দোলকটির কার্যকর দৈর্ঘ্য l (চিত্র 1.5)। এখন পূর্বের মত দোলকটির দোলনকাল নির্ণয় কর। ধর, এই দোলনকালের মান T। কয়েকবার সূতার দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিয়া ঐরূপ দোলনকাল নির্ণয় কর। ধর, দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য l_1-এ দোলনকাল T_1, কার্যকর দৈর্ঘ্যে l_2-তে দোলনকাল T_2 ……… ইত্যাদি। এখন দেখা যাইবে যে,

$$\frac{T}{\sqrt{l}}=\frac{T_1}{\sqrt{l_1}}=\frac{T_2}{\sqrt{l_2}}=\cdots\cdots \text{ধ্রুবক।}$$

বা $T \propto \sqrt{l}$

ইহাই দ্বিতীয় সূত্রের প্রমাণ।

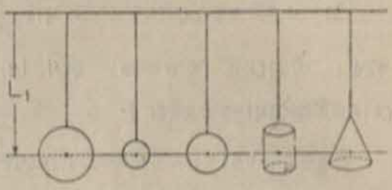
তৃতীয় সূত্র : একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের দোলককে পৃথিবীর বিভিন্ন জায়গায় লইয়া গিয়া উহার দোলনকাল নির্ণয় করিতে হইবে। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান বিভিন্ন বলিয়া বিভিন্ন স্থানে দোলকটির দোলনকাল বিভিন্ন হইবে। ধরা যাক্ কোন স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান g_1 এবং সেখানে দোলকটির দোলনকাল T_1, অপর কোন স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান g_2 এবং দোলনকাল T_2 ; তাহা হইলে দেখা যাইবে যে,

$$T_1\sqrt{g_1}=T_2\sqrt{g_2}=\cdots \text{ধ্রুবক}$$

বা $T \propto \dfrac{1}{\sqrt{g}}$

ইহাই তৃতীয় সূত্রের প্রমাণ।

চতুর্থ সূত্র : বিভিন্ন ওজন, আয়তন ও পদার্থের (লোহা, তামা, সীসা ইত্যাদি) তৈয়ারী কয়েকটি পিণ্ড লইয়া কয়েকটি সরল দোলক এমনভাবে তৈয়ারী কর যাহাতে উহাদের প্রত্যেকের কার্যকর দৈর্ঘ্য সমান (L_1) হয় (চিত্র 1.6)। এইবার দোলকগুলির 4° অনধিক বিস্তারে দোলনকাল নির্ণয় কর ; দেখিবে যে, প্রত্যেক দোলকেরই দোলনকাল এক হইতেছে।



চিত্র 1.6

ইহাই চতুর্থ সূত্রের প্রমাণ।

1.6c. দোলকের সমীকরণ :

আমরা দোলকের দ্বিতীয় ও তৃতীয় সূত্র হইতে জানি,

$$T \propto \sqrt{l} \text{ ও } T \propto \frac{1}{\sqrt{g}}$$

উহাদের একত্র করিলে, $T \propto \sqrt{\frac{l}{g}}$ বা $T = K\sqrt{\frac{l}{g}}$

কোন স্থানে g-এর মান জানা থাকিলে পরীক্ষার সাহায্যে l ও T-এর মান নির্ণয় করিয়া এই সমীকরণে বসাইলে আমরা K-এর মান 2π পাই।

$$\therefore \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

ইহাই দোলকের সমীকরণ।

1.6d. সেকেণ্ড দোলক (Second's Pendulum) :

যে সরল দোলকের দোলনকাল 2 সেকেণ্ড অর্থাৎ অর্ধ-দোলনকাল 1 সেকেণ্ড তাহাকে সেকেণ্ড দোলক বলে।

আমরা জানি, $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

সেকেণ্ড দোলকের ক্ষেত্রে, $T = 2$ সেকেণ্ড।

$$\therefore \quad 2 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \text{ বা } 1 = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

বা $g = \pi^2 l$.

অতএব, সেকেণ্ড দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য বা সেইস্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণের যে-কোন একটির মান জানা থাকিলে অপরটি নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ (Examples) :

(1) একটি সরল দোলক কোন স্থানে $\frac{3}{4}$ সেকেণ্ডে এক অর্ধ-দোলন সম্পন্ন করে। ঐস্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণ (g) 980 সে. মি./সেকেণ্ড² হইলে দোলকটির দৈর্ঘ্য কত হইবে?

উত্তর : ধরা যাক, দোলকটির নির্ণেয় দৈর্ঘ্য $=l$ সে. মি.

দোলকটি দোলনকাল (T) হইবে $\frac{3}{4}\times 2=\frac{3}{2}$ সেকেণ্ড।

$\therefore$ দোলকের সমীকরণ অনুসারে, $\frac{3}{2}=2\pi\sqrt{\frac{l}{980}}$

বা $l=\frac{9}{4}\times\frac{980}{4\times(3\cdot14)^2}=55\cdot9$ সে.মি.

(2) 105 সে.মি. দোলক দৈর্ঘ্যযুক্ত দোলকের দোলনকাল কত হইবে? ($g=980$ সে. মি./সেকেণ্ড²)।

উত্তর : দোলকের সমীকরণ হইতে, $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$।

এক্ষেত্রে, $T=2\pi\sqrt{\frac{105}{980}}=2\cdot057$ সে. ($\pi=3\cdot14$)

অতএব দোলকটির নির্ণেয় দোলনকাল হইবে 2·057 সেকেণ্ড।

(3) অভিকর্ষজ ত্বরণ 981 সে. মি./সেকেণ্ড² হইলে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

উত্তর : সেকেণ্ড দোলকের ক্ষেত্রে, $1=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ বা $l=\frac{g}{\pi^2}$

অতএব এক্ষেত্রে, $l=\frac{981}{(3\cdot14)^2}=99\cdot5$ সে. মি. (প্রায়)

অতএব সেকেণ্ড দোলকের নির্ণেয় দৈর্ঘ্য হইবে 99·5 সে. মি.।

(4) কোন্ সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য কলিকাতায় 100 সে. মি. কিন্তু দার্জিলিং-এ 95 সে. মি.। দুই স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

উত্তর : সেকেণ্ড দোলকের ক্ষেত্রে, $1=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ বা $g=\pi^2 l$.

ধরা যাক, কলিকাতায় অভিকর্ষজ ত্বরণের মান g এবং দার্জিলিং-এ এই মান g'।

$$\therefore \quad g = \pi^2 \times 100$$

এবং $g' = \pi^2 \times 95$

$$\therefore \quad \frac{g}{g'} = \frac{100}{95} = \frac{20}{19} \text{ বা } \frac{g'}{g} = \frac{19}{20}$$

অতএব কলিকাতার অভিকর্ষজ ত্বরণ এবং দার্জিলিং-এর অভিকর্ষজ ত্বরণের অনুপাত হইল $\frac{20}{19}$; অর্থাৎ দার্জিলিং-এর অভিকর্ষজ ত্বরণ কলিকাতার অভিকর্ষজ ত্বরণ অপেক্ষা $\frac{1}{20}$ ভাগ কম।

1.6e. পরীক্ষাগারে দোলকের সাহায্যে 'g'-এর মান নির্ণয় :

(Determination of the value of 'g' in the laboratory by a simple pendulum).

যেহেতু, $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

$$\therefore \quad g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$$

অতএব পরীক্ষাগারে পূর্বের মত কোন একটি সরল দোলকের দোলনকাল, T ও কার্যকর দৈর্ঘ্য l মাপিয়া উপরের সমীকরণ হইতে সেই স্থানের 'g'-এর মান নির্ণয় করা যায়।

1.6f. দোলক ঘড়ির 'স্লো' বা 'ফাস্ট' যাওয়া (Loss or gain of time by a pendulum clock) :

দোলকের সূত্র হইতে আমরা জানি, দোলকের দোলনকাল, দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য ও অভিকর্ষজ ত্বরণের উপর নির্ভর করে। অতএব কোন কারণে এই দুই রাশির একটির বা উভয়ের পরিবর্তন হইলেই দোলকের দোলনকাল বদলাইয়া যাইবে। অতএব দোলক-ঘড়ির স্লো বা ফাস্ট যাওয়ার কারণগুলি নিম্নরূপ :

(i) দোলকের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য বাড়িলে দোলনকাল বাড়িয়া যাইবে; অর্থাৎ ঘড়িটি স্লো চলিবে। গরমের সময় ঘড়ির দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায়; এজন্য সাধারণ ঘড়ি এই সময় স্লো চলে। আবার শীতের সময় এই দৈর্ঘ্য কমিয়া যায়; সেজন্য শীতে ঘড়ি সাধারণতঃ ফাস্ট চলে।

(ii) দোলকের তৃতীয় সূত্রানুসারে g-এর মান কমিলে দোলনকাল বাড়ে এবং g-এর মান বাড়িলে দোলনকাল কমে। মাটির নীচে বা উঁচু পাহাড়ে

'g'-এর মান কম, অর্থাৎ দোলনকাল বেশী। ইহার অর্থ ঘড়ি স্লো চলিবে। আবার পৃথিবীপৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে 'g'-এর মান বিভিন্ন হওয়ায় ঘড়ি কোথাও স্লো (নিরক্ষরেখায়) আবার কোথাও ফাষ্ট (মেরু অঞ্চলে) চলিবে।

উভয় ক্ষেত্রেই দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য বাড়াইয়া বা কমাইয়া দোলক ঘড়ির দোলনকাল স্থির রাখা হয়।

1.6g. দোলকের সাহায্যে পাহাড়ের উচ্চতা নির্ণয় (Determination of the height of a mountain by a simple pendulum) :

একটি সরল দোলকের সাহায্যে কোন পাহাড়ের উচ্চতা নির্ণয় করা যায়। প্রথমে পাহাড়ের পাদদেশে দোলকের সাহায্যে 'g'-এর মান নির্ণয় করা হইল (অনুচ্ছেদ 1.5e)। তারপর পাহাড়ের চূড়ায় উঠিয়া 'g'-এর মান বাহির করা হইল। ধরা যাক্, 'g'-এর এই শেষোক্ত মান g'। এখন 1.5 (iii) অনুচ্ছেদ হইতে,

$g/g'=\left(1+\frac{h}{R}\right)^2$, h পাহাড়টির উচ্চতা এবং g পৃথিবীর ব্যাসার্ধ। অতএব g, g' এবং R-এর মান বসাইয়া আমরা সহজেই h-এর মান বাহির করিতে পারি।

উদাহরণ (Examples) :

(i) একটি ত্রুটিপূর্ণ সেকেণ্ড দোলক দৈনিক 20 সেকেণ্ড নষ্ট করে। ঠিক সময় রাখিতে হইলে ইহার দৈর্ঘ্যের কি পরিবর্তন আবশ্যক ($g=981$ সে. মি./সেকেণ্ড^2) ?

উত্তর : সেকেণ্ড দোলকের দোলকদৈর্ঘ্য, $l=\frac{4\times 981}{4\times(3{\cdot}14)^2}=99{\cdot}492$ সে. মি.।

অর্থাৎ দোলকদৈর্ঘ্য 99·492 সে.মি. হইলে সেকেণ্ড দোলকটির দোলনকাল 2 সেকেণ্ড হইবে।

এখন, 1 দিন $=(24\times 60\times 60)$ মিনিট $=86400$ সেকেণ্ড।

∴ ত্রুটিপূর্ণ সেকেণ্ড দোলকটি 86400 সেকেণ্ডে $(86400)-20)=$ 86380 অর্ধ-দোলন সম্পন্ন করে।

∴ 1 অর্ধ-দোলনের জন্য ইহার সময় লাগে $\frac{86400}{86380}$ সেকেণ্ড।

ধরা যাক্, ত্রুটিপূর্ণ দোলকটির দোলকদৈর্ঘ্য $=l'$

∴ সেকেণ্ড দোলকের ক্ষেত্রে,

$$\frac{86400}{86380}=\pi\sqrt{\frac{l'}{981}}$$

$$\text{বা, } l' = \left(\frac{86400}{86380}\right)^2 \times \frac{981}{(3{\cdot}14)^2} = 99{\cdot}538 \text{ সে. মি.।}$$

$\therefore$ ত্রুটিপূর্ণ সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য=99·538 সে. মি.।

কিন্তু ত্রুটিহীন সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য হইল 99·492 সে. মি.।

অর্থাৎ দোলকটি দৈর্ঘ্যে (99·538 – 99·492)=0·046 সে. মি. বাড়িয়া যাওয়ায় স্লো চলিতেছিল। কাজেই উহার দৈর্ঘ্য 0·046 সে.মি. হ্রাস করিতে হইবে।

(2) কোন সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য 2·25 গুণ বর্ধিত করিলে ইহার দোলনকাল নির্ণয় কর।

উত্তর ঃ সেকেণ্ড দোলকের ক্ষেত্রে, $2 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

ইহার দৈর্ঘ্য $2{\cdot}25 \times l$ করিলে ইহার দোলনকাল,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{2{\cdot}25l}{g}}$$

এই দুই সমীকরণ হইতে, $\frac{T}{2} = \sqrt{2{\cdot}25} = 1{\cdot}5$

$$\text{বা, } T = 2 \times 1{\cdot}5 = \mathbf{3} \text{ সেকেণ্ড।}$$

অতএব দোলকটির নির্ণেয় দোলনকাল হইবে **3 সেকেণ্ড**।

(3) একটি সেকেণ্ড দোলক একটি পাহাড়ের চূড়ায় দিনে 10 সেকেণ্ড স্লো যায়। পাহাড়টির উচ্চতা নির্ণয় কর। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ=6400 কি.মি.।

উত্তর ঃ ভূ-পৃষ্ঠে সেকেণ্ড দোলকের সমীকরণ, $2 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

পর্বতশৃঙ্গে দোলনকাল T' ও অভিকর্ষজ ত্বরণ g' ধরিলে, $T' = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g'}}$

এই দুই সম্বন্ধ হইতে,

$$\frac{T'}{2} = \sqrt{\frac{g}{g'}} = \sqrt{1 + \frac{h}{R}} \text{ (1·6g অনুচ্ছেদ হইতে)}$$

$$\text{বা, } \frac{T'}{2} = 1 + \frac{h}{R}$$

এখন পর্বতশৃঙ্গে দোলকটি প্রতিদিন 10 সেকেণ্ড স্লো চলিলে প্রতিদিন (86400 – 10)=86390 অর্ধ-দোলন সম্পন্ন করে। সুতরাং একটি অর্ধ-দোলনের সময়=$\frac{86400}{86390}$ সেকেণ্ড।

$$\therefore \quad \frac{T'}{2}=\frac{86400}{86390}$$

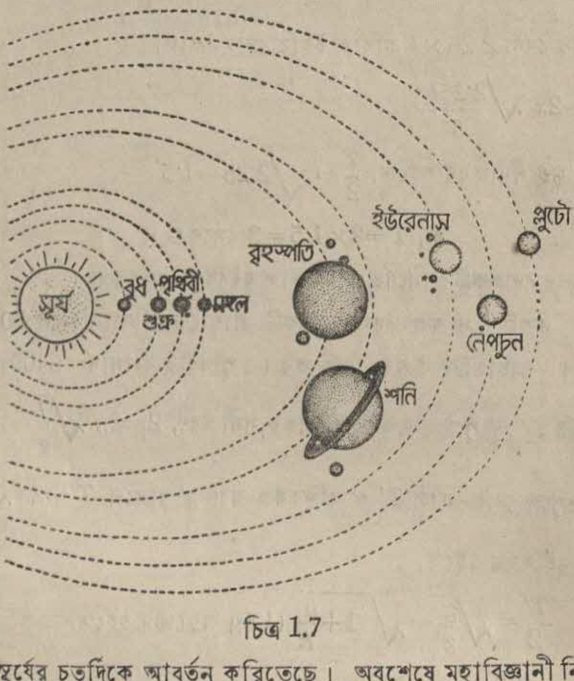
$$\therefore \quad 1+\frac{h}{R}=\frac{86400}{86390}, \text{ বা, } \frac{h}{R}=\frac{10}{86390}$$

$$\text{বা, } h=\frac{10\times6400}{86390} \text{ কিলোমিটার}=0{\cdot}74 \text{ কি. মি.}=740 \text{ মিটার।}$$

$\therefore$ পাহাড়টির নির্ণেয় উচ্চতা হইল **740** মিটার।

1.7. গ্রহ ও উপগ্রহসমূহের গতি (Motion of Planets and Satellites) :

সপ্তদশ শতাব্দীর শুরুতে ডেনমার্কের বিজ্ঞানী জন্ কেপলার গ্রহগুলির গতি সম্বন্ধে তিনটি সূত্র* আবিষ্কার করিয়া বলিলেন যে, গ্রহগুলি এক অজানা বলের



চিত্র 1.7

প্রভাবে সূর্যের চতুর্দিকে আবর্তন করিতেছে। অবশেষে মহাবিজ্ঞানী নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র আবিষ্কৃত হইবার পর এই বলের সঠিক প্রকৃতি নির্ধারিত হইল।

---

(1) সূর্যকে একটি ফোকাসে রাখিয়া গ্রহগুলি উপবৃত্তাকার কক্ষপথে সূর্যকে প্রদক্ষিণ করে।

(2) সূর্য হইতে গ্রহ পর্যন্ত বিস্তৃত দূরক (radius vector) সমান অবকাশে সমান ক্ষেত্রফল অতিক্রম করে—অর্থাৎ একক সময়ে অতিক্রান্ত ক্ষেত্রফল ধ্রুবক।

(3) সূর্যের চতুর্দিকে গ্রহের আবর্তনকালের বর্গ সূর্য হইতে গ্রহের গড় দূরত্বের ত্রিঘাতের সমানুপাতিক

গ্রহগুলির জন্ম সূর্য হইতেই ; জন্মের সময় গ্রহগুলি সূর্যদেহ হইতে প্রবল বেগে নিক্ষিপ্ত হইয়াছিল। ফলে জন্ম হইতেই গ্রহগুলি গতিশীল। আইন-স্টাইনের মতে মহাকর্ষ ও গতিশীলতা জ্যোতিষ্কদের জাড্যধর্মেরই অংশবিশেষ। এই মহাকর্ষের প্রভাবে সূর্য ও গ্রহগুলির মধ্যে সর্বদা এক আকর্ষণ-বল ক্রিয়া করিতেছে। বস্তুতঃ গ্রহগুলির তুলনায় বিপুল ভরবিশিষ্ট সূর্য, মহাকর্ষজনিত এই বলের ক্রিয়ায় গতিশীল গ্রহগুলির উপর এক অভিকেন্দ্র বল (contripetal force) প্রয়োগ করিয়া গ্রহগুলিকে অনন্তকাল ধরিয়া তাহার চতুর্দিকে ঘুরাইতেছে। অবস্থাটা অনেকটা একটা সূতার একপ্রান্তে একটি ঢিল বাঁধিয়া সূতার অন্যপ্রান্ত আঙ্গুলে বাঁধিয়া ঘুরাইবার মত। গ্রহগুলির কক্ষপথ অবশ্য উপবৃত্তাকার—কারণ গ্রহদের স্ব স্ব গতিবেগ এবং সূর্যের আকর্ষণ প্রভাবে সামান্য বৈষম্য আছে। তাছাড়া বিভিন্ন গ্রহের ভর বিভিন্ন হওয়ায় ইহাদের কক্ষপথও বিভিন্ন (চিত্র 1.7), ফলে ইহারা সূর্য হইতে বিভিন্ন দূরত্বে থাকিয়া বিভিন্ন সময়ে সূর্য পরিক্রমা করে।

সূর্য হইতে যেমন গ্রহের সৃষ্টি সেইরূপ গ্রহ হইতে **উপগ্রহ** (Satellite) জন্মগ্রহণ করিয়া একই নিয়মে গ্রহের চতুর্দিকে নির্দিষ্ট কক্ষে ও নির্দিষ্ট গতিতে গ্রহকে প্রদক্ষিণ করিতেছে। চন্দ্র পৃথিবীর এইরূপ একমাত্র উপগ্রহ। এইরূপ মঙ্গলের দুইটি, বৃহস্পতির এগারটি, শনির নয়টি, ইউরেনাসের চারিটি এবং নেপচুনের একটি উপগ্রহ আছে।

1.8. মুক্তিবেগ (Escape velocity) :

আমরা জানি, কোন বস্তুকে ঊর্ধ্বে নিক্ষেপ করিলে পৃথিবীর অভিকর্ষের জন্য কিছুক্ষণ পরে বস্তুটি ভূ-পৃষ্ঠেই ফিরিয়া আসে। স্বভাবতঃই প্রশ্ন জাগে বস্তুকে কি এমন কোন বেগে উৎক্ষেপ করা যায় যাহাতে বস্তুটি আর ভূ-পৃষ্ঠে ফিরিয়া না আসে? বলা বাহুল্য, ইহা করিতে গেলে বস্তুকে এমন বেগে ছুড়িতে হইবে যাহাতে বস্তুটি পৃথিবীর অভিকর্ষের সীমা ছাড়িয়া যাইতে পারে। **যে ন্যূনতম বেগ দিলে বস্তু এই কার্য করিতে সক্ষম তাহাকে মুক্তিবেগ বলা হয়।**

বিজ্ঞানীরা হিসাব করিয়া দেখিয়াছেন যে, কোন বস্তুকে যদি 11.20×10^5 সে.মি./সেকেণ্ড (প্রায় 7 মাইল/সেকেণ্ড বা 25000 মাইল/ঘণ্টা) গতিবেগে ঊর্ধ্বে উৎক্ষেপ করা হয়, তবে বস্তুটি আর ভূ-পৃষ্ঠে ফিরিয়া আসিবে না। অতএব, ইহাই হইল পৃথিবীগ্রহে মুক্তিবেগের মান।

1.9. কৃত্রিম উপগ্রহ ও ভারশূন্যতা (Weightlessness in artificial satellites) :

বৈজ্ঞানিক গবেষণায় জানা গিয়াছে কোন বস্তুকে পৃথিবীর চতুর্দিকে উপ-গ্রহের মত আবর্তন করাইতে অর্থাৎ কৃত্রিম উপগ্রহ সৃষ্টি করিতে হইলে ইহার উৎক্ষেপ বেগ 18000 হইতে 25000 মাইল/ঘণ্টা হইতে হইবে। বস্তুটিকে পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের উর্ধ্বে অর্থাৎ ভূ-পৃষ্ঠ হইতে 550 মাইলের বেশী উপরে তুলিয়া (নতুবা দ্রুতগতির দরুন বায়ুমণ্ডলের সঙ্গে ঘর্ষণে বস্তুটি পুড়িয়া যাইবে) ইহার গতির অভিমুখ ভূসমান্তরাল করিতে পারিলে, উহার বেগ ও পৃথিবীর আকর্ষণের ফলে, উহা পৃথিবীর চতুর্দিকে ঘণ্টায় 18000 মাইল বেগে পরিক্রমা করিবে। এই অবস্থায় বস্তুটি পৃথিবীর আকর্ষণ বলের প্রভাব হইতে মুক্ত হইয়া বা পৃথিবীর আকর্ষণ বলকে প্রশমিত করিয়া চন্দ্রের ন্যায় ভারশূন্য অবস্থায় পৃথিবী প্রদক্ষিণ করিবে। বৈজ্ঞানিকগণ একাধিক রকেটের সাহায্যে এই প্রচণ্ড গতিবেগ সৃষ্টি করিতে সমর্থ হইয়াছেন এবং এইভাবে সোভিয়েত ও আমেরিকার বৈজ্ঞানীরা একাধিক কৃত্রিম উপগ্রহ ও গ্রহ মহাকাশে উৎক্ষেপ করিয়াছেন। ইহাদের কোন কোনটিতে চড়িয়া মানুষও ভূপ্রদক্ষিণ করিয়াছে। ভারতে তৈয়ারী এমনি এক কৃত্রিম উপগ্রহ 'আর্যভট্ট' পৃথিবী পরিক্রমা করিতে করিতে নানা খবরাখবর আদান-প্রদান করিতেছে।

কৃত্রিম উপগ্রহের প্রচণ্ড গতিবেগে উদ্ভূত অপকেন্দ্র-বল (Centrifugal force) পৃথিবীর অভিকর্ষ-বলকে নিষ্ক্রিয় করিয়া রাখে ; সেজন্য এইরূপ উপ-গ্রহের ভিতর যে-কোন বস্তুই ভারশূন্য হইবে, কারণ বস্তুর ভার অর্থে বস্তুটির উপর পৃথিবীর আকর্ষণকেই বুঝায়। পৃথিবীর এই আকর্ষণহীনতার ফলে কৃত্রিম উপগ্রহের ভিতরের কোন বস্তুই উপগ্রহের উপর কোনরূপ চাপ প্রয়োগ করিবে না এবং সকল বস্তুই ভাসমান অবস্থায় থাকিবে। এই অবস্থায় অভ্যন্তরস্থিত নভোচারীদের স্বাভাবিকভাবে কাজ করা সম্ভব নয়; এজন্য বিশেষ ব্যবস্থা করিতে ও তাহার প্রশিক্ষণ লইতে হয়।

প্রশ্নাবলী

1. নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র কি ? ইহার ব্যাখ্যা কর। মহাকর্ষীয় ধ্রুবকের মান $6{\cdot}6576 \times 10^{-8}$ সি. জি. এস্ একক—ইহার অর্থ কি ?

[What is Newton's law of gravitation ? Explain it.

What is the meaning of the statement—Constant of gravitation is $6{\cdot}6576 \times 10^{-8}$ C. G. S. unit.]

2. অভিকর্ষ কাহাকে বলে? অভিকর্ষজ ত্বরণ বলিতে কি বোঝায়? ইহা দূরত্বের উপর কিভাবে নির্ভর করে? অভিকর্ষ বলে সমস্ত বস্তুই পৃথিবী-পৃষ্ঠে ধাবিত হয়—পৃথিবী বস্তুর দিকে যায় না—আলোচনা কর।

[What do you mean by gravity and acceleration due to gravity? How does acceleration due to gravity depend on distance? Explain—All bodies fall on earth's surface due to force of gravity, earth does not fall on the bodies.]

3. পতনশীল বস্তুর সূত্রগুলি কি? ইহাদের প্রমাণ কর। কোন পতনশীল বস্তুর সাহায্যে কিভাবে কোন স্থানের 'g'-এর মান নির্ণয় করিবে?

একটি উড়ন্ত বেলুনের 200 ফুট উচ্চতা হইতে একটি পাথর ফেলা হইল এবং পাথরটি 6 সেকেণ্ড পরে মাটিতে পড়িল। পাথরটি ফেলার ঠিক আগের মুহূর্তে ইহার গতিবেগ কত ছিল?

[What are the laws of falling bodies? Verify them. How can you determine the value of 'g' at a place with the help of a falling body?]

A stone is dropped from a rising balloon at a height of 200 ft. above the ground and it reaches the ground in 6 secs. What was the velocity of the ballon just at the moment when the stone was dropped?] [Ans : 62·6 ft/sec. upwards.]

4. বিভিন্ন স্থানে কোন বস্তুর অভিকর্ষজ ত্বরণের মান কিভাবে পরিবর্তিত হয়? একটি বস্তুকে সমুদ্র সমতলে, পর্বতশৃঙ্গে ও গভীর খাদে ওজন করা হইল—ইহার ওজনের কোন পার্থক্য হইবে কি? তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দেখাও।

[How does the acceleration due to gravity of a body vary at different places? A body is weighed at the sea level, on a mountain top and in a deep mine. Will there be any change in its weight? If so, explain why?]

5. সরল দোলক কাহাকে বলে? দোলক-দৈর্ঘ্য, দোলনকাল, কম্পাঙ্ক ও বিস্তার—ইহাদের সংজ্ঞা লিখ ও চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

[What is a simple pendulum ? Define the following terms with diagrams : Effective length, time-period, frequency and amplitude.]

6. সরল দোলকের সূত্রগুলি কি? ইহাদের সত্যতা নিরূপণ কর।

[State and verify the laws of simple pendulum.]

7. সরল দোলকের দোলনকালের সমীকরণ নির্ণয় কর। ইহার সাহায্যে কিভাবে 'g'-এর মান নির্ধারণ করা যায়?

[Obtain an expression for the time-period of a simple pendulum. How do you determine the value of 'g' with it ?]

8. সেকেণ্ড দোলক কাহাকে বলে? কোন সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য যদি 1% বাড়াইয়া দেওয়া হয় তবে সারাদিনে উহা কতগুলি পূর্ণ-দোলন হারাইবে?

[What is the second's pendulum ? If the length of a second's pendulum is increased by 1%, how many complete oscillations with it lose in a day ?] [Ans : 214 complete oscillations]

9. (i) একটি ত্রুটিপূর্ণ সেকেণ্ড দোলক দিনে 9 সেকেণ্ড স্লো যায়। উহার দৈর্ঘ্যের কি পরিবর্তন করিলে উহা সঠিক সময় রাখিবে? g=980 সে. মি./ সেকেণ্ড^2।

[A faulty second's pendulum lose 9 secs. a day. Find the required alteration in its length so that it keeps correct time. g=980 cms./sec.^{2}] [Ans. : 0·0207 cms.]

(ii) ভূ-পৃষ্ঠে ঠিক সময় রাখে এরূপ একটি সেকেণ্ড দোলককে চন্দ্রপৃষ্ঠে লইয়া যাওয়া হইল। সেখানে ইহার দোলনকাল কত হইবে? পৃথিবীর ভর চন্দ্রের ভর অপেক্ষা 81 গুণ বেশী এবং পৃথিবীর ব্যাসার্ধ চন্দ্রের ব্যাসার্ধের 4 গুণ বেশী।

[A second's pendulum which keeps correct time on the earth is taken to the surface of the moon. Find the time period there, taking the mass of the earth to be 81 times

that of the moon and the radius of the earth to be 4 times that of the moon.] [Ans. : 4·5 secs.]

(iii) ভূ-পৃষ্ঠে ঠিক সময় রাখে এরূপ একটি দোলকঘড়িতে কোন পর্বতশৃঙ্গে লইয়া গেলে উহার দোলক-দৈর্ঘ্য দুই সহস্র ভাগের একভাগ হ্রাস করিলে ঘড়িটি ঠিক সময় রাখে। পর্বতশৃঙ্গের উচ্চতা কত ? পৃথিবীর ব্যাসার্ধ—3960 মাইল।

[A pendulum clock beating correctly on the earth's surface has its length to be shortened by two-thousand-th's of its length to keep correct time on a mountain. Find the height of the mountain, given the radius of the earth—3960 miles.] [Ans. : 0·99 mile.]

10. গ্রহ ও উপগ্রহের গতি সম্বন্ধে সংক্ষেপে যাহা জান লিখ। কোন বস্তুর মুক্তিবেগ বলিতে কি বুঝায় ?

[Write a short essay about the motion of planets and satellites. What is meant by the escape velocity of a body ?]

11. কৃত্রিম উপগ্রহ কিভাবে সৃষ্টি করা যায় ? কৃত্রিম উপগ্রহে ভারশূন্যতার কারণ কি ?

[How an artificial satellites can be obtained ? What is the cause of weightlessness in artificial satellites ?]

———

দ্বিতীয় অধ্যায়

পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা (Elastic properties of Matter)

2.1. সূচনা (Introduction) :

আমরা জানি, বল প্রয়োগে কোন কোন বস্তুর আকারের পরিবর্তন হয়। যেমন একটি রবারের টুকরা বা ইস্পাতের স্প্রিং টানিলে লম্বায় বাড়িয়া যায়। সঙ্গে সঙ্গে কিন্তু ইহাদের ভিতর হইতে একটি প্রতিক্রিয়া বলের সৃষ্টি হয়। এই আভ্যন্তরীণ প্রতিক্রিয়া বল ইহাদের আকার পরিবর্তনে বাধা সৃষ্টি করে। ফলে, বাইরের বল সরাইয়া লইলে এই প্রতিক্রিয়া বলের প্রভাবে বিকৃত রবারের টুকরা বা ইস্পাতের স্প্রিং তাহাদের পূর্বেকার অবস্থায় ফিরিয়া আসিতে পারে। পদার্থের এই ধর্মকেই **স্থিতিস্থাপকতা** বলে।

সংজ্ঞা : **বাহির হইতে প্রযুক্ত কোন বলে বস্তুর বিকৃতি ঘটিলে বস্তুর সে ধর্মের প্রভাবে এই বল সরাইয়া লইলে বস্তুটি পূর্বেকার আকৃতি ফিরিয়া পায় তাহাকে ঐ বস্তুর স্থিতিস্থাপকতা বলে।** ইহা পদার্থের এক সাধারণ ধর্ম এবং কম-বেশী সকল পদার্থের মধ্যেই বর্তমান।

স্থিতিস্থাপকতার পরিমাপ করিতে গেলে আমাদের আপাতদৃষ্টিতে মনে হয় ইস্পাতের অপেক্ষা রবারের স্থিতিস্থাপকতা বেশী; কেননা অল্প বল প্রয়োগেই রবারের আকৃতির পরিবর্তন হয় এবং বল সরাইয়া লইলে সঙ্গে সঙ্গে রবার সম্পূর্ণভাবে ইহার পূর্বেকার অবস্থায় ফিরিয়া আসে। বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে কিন্তু স্থিতিস্থাপকতার পরিমাপ অন্য রকম। এক্ষেত্রে দুইটি বস্তুতে একই বিকৃতি উৎপন্ন করিতে যার ক্ষেত্রে বেশী বল প্রয়োগ করিতে হয় তাহার স্থিতিস্থাপকতাই বেশী। এই নিয়মে, রবার অপেক্ষা ইস্পাতে বেশী বল প্রয়োগ করিতে হয় এবং সেইজন্যই রবার অপেক্ষা ইস্পাতকে বেশী স্থিতিস্থাপক বলা হয়।

2.2. কয়েকটি সংজ্ঞা (Some definitions) :

(i) **পূর্ণ স্থিতিস্থাপক** (Perfectly elastic) :

বাহির হইতে প্রযুক্ত বল সরাইয়া লইলে বিকৃত বস্তু যদি পূর্বের আকার ও আয়তন সম্পূর্ণভাবে ফিরিয়া পায় তবেই ঐ পদার্থকে **পূর্ণ স্থিতিস্থাপক** বলা হয়।

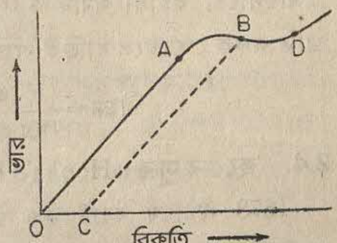
(ii) **স্থিতিস্থাপক সীমা** (Elastic limit) :

বাহ্যিক বলের একটি নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত কোন বস্তু পূর্ণ স্থিতিস্থাপক থাকে, বলের এই সীমাকে ঐ পদার্থের **স্থিতিস্থাপক সীমা** বলে। পদার্থ ভেদে বলের এই সীমা বিভিন্ন হয়। যেমন, ইস্পাতের স্থিতিস্থাপক সীমা খুব বেশী, কিন্তু অ্যালুমিনিয়ামের বা সীসার কম।

(iii) **অসহ ভার** (Breaking load) :

পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তুর উপর প্রযুক্ত বাহ্যবলের পরিমাণ যদি স্থিতিস্থাপক সীমা ছাড়াইয়া যায় তবে ঐ বল অপসারণ করিলেও বস্তুটি আর ঠিক পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া আসে না, কিছু স্থায়ী বিকৃতি (permanent deformation) থাকিয়া যায়। ভার বাড়াইতে বাড়াইতে যদি ক্রমশঃ এই বাহ্যবলের পরিমাণ বাড়ানো যায় তবে এমন এক অবস্থা আসিবে যখন বস্তুটি আর ভার সহ্য করিতে না পারিয়া ভাঙ্গিয়া বা ছিঁড়িয়া পড়িবে। ঐ নির্দিষ্ট ভারকেই বলা হয় পদার্থের **অসহ ভার**। পদার্থ-ভেদে অসহ ভারের সীমাও বিভিন্ন।

চিত্রে (চিত্র 2.1) একটি স্থিতিস্থাপক বস্তুর ভার-বিকৃতি লেখ চিত্রের সাহায্যে দেখানো হইল। ইহাতে A বিন্দুটি বস্তুটির স্থিতিস্থাপক সীমা নির্দেশ করে। ফলে OA-এর মধ্যে বস্তুটি সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক থাকিবে। A-এর পর ভার বাড়াইয়া যে-কোন সময়ে (ধরা যাক্ B বিন্দুতে) বস্তুটিকে ভারমুক্ত করিয়া দিলে বস্তুটি পূর্ণ স্থিতিস্থাপকরূপে পূর্বেকার প্রাথমিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে না—BC পথে ফিরিয়া আসে ; ফলে বস্তুতে এক স্থায়ী বিকৃতি OC থাকিয়া যায়। ইহার পরেও ভার বাড়াইলে বস্তুটির বিকৃতি তুলনামূলকভাবে বেশী হয়। কারণ এই সময় ইহার কোন কোন জায়গা সরু হইয়া পড়ে এবং অবশেষে D বিন্দুতে বস্তুটি অসহ ভারপ্রাপ্ত হয় এবং ছিঁড়িয়া পড়ে। D বিন্দুকে **নতি বিন্দু** (yield point) বলে।



চিত্র 2.1

(iv) **সম্পূর্ণ দৃঢ়** (Perfectly rigid) :

যে-কোন পরিমাণ বাহ্য বলের প্রয়োগেও যদি বস্তুর কোন বিকৃতি না হয় তবে ঐ বস্তুকে বলা হয় **সম্পূর্ণ দৃঢ় বস্তু**। সম্পূর্ণ দৃঢ় বস্তু একান্তই বিরল—কাচকে অনেকটা সম্পূর্ণ দৃঢ় বস্তু বলা হয়।

2.3. পীড়ন ও বিকৃতি (Stress and Strain) :

কোন স্থিতিস্থাপক বস্তুতে বাহির হইতে বলপ্রয়োগ করিলে যদি বস্তুটি সামগ্রিকভাবে গতিশীল না হইয়া পড়ে তবে ঐ বলের প্রভাবে বস্তুর বিভিন্ন অংশগুলি পরস্পর হইতে সরিয়া যায়। ইহার ফলেই বস্তুর দৈর্ঘ্য, আয়তন বা আকৃতির পরিবর্তন ঘটে। বস্তুর এই পরিবর্তনকেই **বিকৃতি** বলে।

বিভিন্নক্ষেত্রে এই পরিবর্তনের হার মাপিয়াই বিকৃতির পরিমাপ করা হয়। অর্থাৎ,

$$\text{বিকৃতি} = \frac{\text{মোট বৃদ্ধির (বা হ্রাসের) পরিমাণ}}{\text{প্রাথমিক মান}}$$

বাহ্যিক বলপ্রয়োগে বস্তুর বিকৃতি ঘটিলে স্থিতিস্থাপকতার গুণে পদার্থের ভিতর একটি প্রতিক্রিয়া বলের সৃষ্টি হয়। এই বল বাহ্যিক বলকে প্রতিরোধ করিতে চেষ্টা করে এবং বাহ্যিক বল সরাইয়া লইলেই বিকৃত বস্তুকে পূর্বেকার অবস্থায় ফিরিয়া আসিতে সাহায্য করে। বস্তুর এই প্রতিক্রিয়া বলকেই **পীড়ন** বলে।

পীড়ন বাহ্যিক প্রযুক্ত বলের প্রতিক্রিয়া হওয়ায় নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্রানুসারে, ইহারা সমান ও বিপরীত। সেজন্য পীড়নের পরিমাপ হয় বস্তুর প্রতি একক ক্ষেত্রফলে বাহ্যিক বলের পরিমাণ হইতে। অর্থাৎ,

$$\text{পীড়ন} = \frac{\text{বাহ্যিক প্রযুক্ত বল}}{\text{বস্তুর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল}}$$

2.4. হুকের সূত্র (Hooke's law) :

1678 খ্রীষ্টাব্দে বরার্ট হুক স্থিতিস্থাপকতার এক সূত্র উপস্থাপিত করেন। সূত্রটি নিম্নরূপ :

স্থিতিস্থাপক সীমা ছাড়াইয়া না যাওয়া পর্যন্ত বস্তুর পীড়ন ইহার বিকৃতির সমানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ,

$$\text{পীড়ন} \propto \text{বিকৃতি, বা } \frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}} = \text{ধ্রুবক।}$$

এই ধ্রুবককে বলা হয় **স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক** (Modulus of elasticity)।

2.5. বিভিন্ন প্রকারের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক (Different moduli of elasticity) :

বস্তুতে প্রযুক্ত পীড়ন ও ইহার বিকৃতি নানারকমের হইতে পারে। যেমন বাহ্যিক বলের প্রভাবে বস্তুর দৈর্ঘ্য, আয়তন ও আকারের পরিবর্তন হইতে পারে। অতএব তৎসংশ্লিষ্ট স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কও বিভিন্ন হইবে। যেমন :

(A) **ইয়ং গুণাঙ্ক** (Young's modulus) :

বাহ্যিক বলের প্রভাবে যদি বস্তুটির শুধু দৈর্ঘ্যের হ্রাস-বৃদ্ধি হয় সেক্ষেত্রে স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ককে বলা হয় ইয়ং গুণাঙ্ক। এই দৈর্ঘ্যের পরিবর্তনকে **অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি** (longitudinal strain) এবং তৎসংশ্লিষ্ট পীড়নকে **অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন** (longitudinal stress) বলে। অতএব,

$$\text{ইয়ং গুণাঙ্ক } (\gamma) = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$$

(B) **আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক** (Bulk modulus) :

বাহ্যিক বলের প্রভাবে যদি বস্তুটির কেবলমাত্র আয়তনের হ্রাস-বৃদ্ধি হয়, তবে এই ধ্রুবককে বলা হয় আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক। এই ক্ষেত্রে আয়তনের পরিবর্তনকে **আয়তন বিকৃতি** (volume strain) এবং প্রযুক্ত পীড়নকে **আয়তন-পীড়ন** (volume strees) বলে। অতএব,

$$\text{আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক } (K) = \frac{\text{আয়তন পীড়ন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}}$$

(C) **দৃঢ়তা গুণাঙ্ক** (Rigidity modulus) :

বাহ্যিক বলের প্রভাবে যেখানে বস্তুর শুধু আকারের পরিবর্তন হয় সেখানে এই ধ্রুবককে বলে দৃঢ়তা গুণাঙ্ক। এই স্থলে আকারের পরিবর্তনকে **মোচড়-বিকৃতি** (Shearing strain) এবং তৎসংশ্লিষ্ট পীড়নকে **মোচড়-পীড়ন** (Shearing stress) বলে। অতএব,

$$\text{দৃঢ়তা গুণাঙ্ক } (\eta) = \frac{\text{মোচড়-পীড়ন}}{\text{মোচড়-বিকৃতি}}$$

(D) **পয়সনের অনুপাত** (Poisson's ratio) :

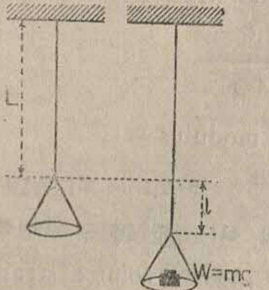
কোন বস্তুর উপর অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন প্রয়োগে কোন বিশেষ দিকে প্রসারণ ঘটাইলে, উহার অভিলম্ব দিকে সংকোচন হইবে ; অর্থাৎ অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির সঙ্গে সঙ্গে পার্শ্বীয়-বিকৃতি (lateral strain) ঘটে। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গিয়াছে যে, প্রযুক্তবল স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে হইলে অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি, পার্শ্বীয়-বিকৃতির সমানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ,

$$\text{পয়সনের অনুপাত } (\delta) = \frac{\text{পার্শ্বীয়-বিকৃতি}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি}}$$

2.5.(a) **বিভিন্ন স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কের মান** (Values of different moduli of elasticity) :

(A) **ইয়ং গুণাঙ্কের মান** (Value of Young's modulus) :

ধরা যাক্ একটি লম্বা, (দৈর্ঘ্য L) ও সরু (ব্যাসার্ধ r) তারের একপ্রান্ত একটি স্থির অবলম্বনের সঙ্গে দৃঢ়ভাবে বাঁধা আছে এবং ইহার নিম্নপ্রান্তে একটি পাত্রে সামান্য ওজন দিয়া ইহাকে টান করা আছে (চিত্র 2.2)। এখন পাত্রটিতে ওজন আরো কিছু বাড়াইলে তারটির দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি ঘটিবে। ধরা যাক্ m গ্রাম ওজন বৃদ্ধির দরুন তারটির 'l' সে.মি. দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি ঘটিল। এক্ষেত্রে তারটির বিকৃতিকে অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি বলে। অতএব বিকৃতির সংজ্ঞানুসারে,



চিত্র 2.2

$$\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি} = \frac{\text{দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}} = \frac{l}{L}$$

বিকৃতি দুইটি দৈর্ঘ্যের অনুপাত হওয়ায় ইহা একটি সংখ্যা মাত্র। এবং পীড়নের সংজ্ঞানুসারে,

$$\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন} = \frac{\text{প্রযুক্ত বল}}{\text{প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল}} = \frac{mg}{\pi r^2} \text{ ডাইন/সে.মি.}^2$$

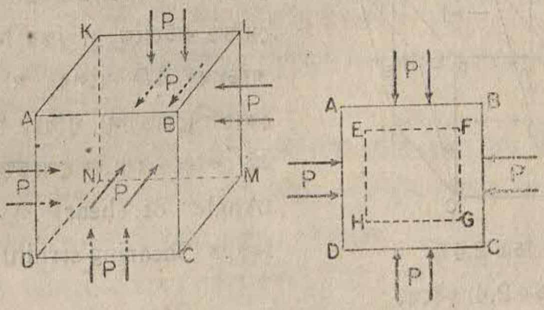
$$\text{অতএব, ইয়ং গুণাঙ্ক } \gamma = \frac{mg}{\pi r^2} \Big/ \frac{l}{L} = \frac{mgL}{\pi r^2 l} \text{ ডাইন/সে.মি}^2.$$

ইহার অর্থ কোন বস্তুতে একক অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি সৃষ্টি করিতে হইলে ইহার প্রস্থচ্ছেদের প্রতি বর্গসেন্টিমিটার ক্ষেত্রফলে $mgL/\pi r^2 l$ ডাইন বলপ্রয়োগ করিতে হইবে।

(B) **আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্কের মান** (Value of Bulk modulus) :

এক্ষেত্রে বাহ্যিক বল বস্তুটির গাত্রের প্রত্যেক বিন্দুতে লম্বভাবে সমান চাপ দেয়, ফলে বস্তুটির আকারের কোন পরিবর্তন না হইয়া একমাত্র আয়তনের পরিবর্তন ঘটে। ধরা যাক্ $ABCDKLMN$ একটি ঘনকের (cube) আয়তন V (চিত্র 2.3)। ইহার প্রত্যেক তলের উপর একটি চাপ P চতুর্দিক হইতে লম্বভাবে ক্রিয়া করিয়া ঘনকটিকে সমানভাবে সংকুচিত করিতেছে। ফলে

ঘনকটির আকার অপরিবর্তিত থাকিয়া একমাত্র আয়তন কমিবে। ধরা যাক্, একটি তল $ABCD$ সংকুচিত হইয়া $EFGH$ তলে পরিণত হইল। যদি



চিত্র 2.3

$ABCD$ তলের ক্ষেত্রফল α এবং $EFGH$ তল-বিশিষ্ট ঘনকের আয়তন V' হয় তবে ঘনকটির আয়তনের পরিবর্তন, $v=V-V'$ এবং

প্রতি একক ক্ষেত্রে প্রযুক্ত বল $p=\frac{P}{\alpha}$

অতএব ঘনকের,

$$\text{আয়তন-বিকৃতি}=\frac{v}{V} \text{ (সংখ্যা)}$$

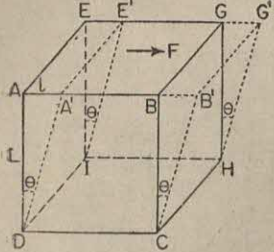
$$\text{আয়তন-পীড়ন}=p \text{ ডাইন/সে.মি.}^2$$

এবং ঘনকের আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক, $K=p\Big/\frac{v}{V}=\frac{pV}{v}$ ডাইন/সে.মি.^{2}

কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় সকল পদার্থের ক্ষেত্রেই আয়তন বিকৃতি সম্ভব, তবে কঠিন পদার্থে ইহার পরিমাণ খুবই কম এবং গ্যাসীয় পদার্থে সবচেয়ে বেশী।

(C) **দৃঢ়তা গুণাঙ্কের মান** (Value of rigidity modulus) : এই ক্ষেত্রে বাহ্যিক বল স্থিতিস্থাপক বস্তুর শুধুমাত্র আকারের পরিবর্তন করে। ধরা যাক্ $ABCDEIHG$ একটি ঘনক (চিত্র 2.4)। ইহার উপরের তল $AEGB$-তে একটি বল F স্পর্শকভাবে (tangentially) ক্রিয়া করিতেছে এবং নিম্নতল $DIHC$ স্থির আছে। এইরূপ বলপ্রয়োগে ঘনকটির সর্বনিম্নতল $DIHC$-এর সমান্তরাল প্রতিটি স্তরের নীচ হইতে উপরদিকে বলের অভিমুখে

বলের অভিমুখে ক্রমবর্ধমান সরণ হইবে। ফলে ঘনকটি মোচড় খাইয়া $A'B'C$ $DE'IHG'$ আকার ধারণ করিবে। তখন বলা হয়, $ABCD$ তল θ কোণে মোচড় খাইয়াছে বা স্থির নিম্নতলের অভিলম্ব AD বলের অভিমুখে θ কোণে (রেডিয়ান) ঘুরিয়া গিয়াছে। এই কোণকে বলা হয় **মোচড় কোণ** (Angle of shear) বা মোচড়-বিকৃতি (Shearing strain)।



চিত্র 2.4

চিত্র (চিত্র 2.4) হইতে,

$$\text{মোচড়-বিকৃতি, } \theta=\frac{AA'}{AD}=\frac{l}{L} \text{ সংখ্যা}$$

$$=\frac{ABGE \text{ তলের সরণ}}{\text{সর্বনিম্নতল হইতে ঐ তলের দূরত্ব}}$$

এক্ষণে $L=I$ ধরিলে, $\theta=l$; অর্থাৎ একক দূরত্বে অবস্থিত দুই তলের মধ্যে পারস্পরিক সরণ হইল মোচড়-বিকৃতির পরিমাপ।

$$\text{আবার, মোচড়-পীড়ন}=\frac{F}{ABGE \text{ তলের ক্ষেত্রফল}}=\frac{F}{\alpha} \text{ ডাইন/সে. মি.}^2$$

($ABGE$ তলের ক্ষেত্রফল α ধরিয়া)

$$\text{অতএব, দৃঢ়তা গুণাঙ্ক } (\eta)=\frac{F}{\alpha} / \frac{l}{L}=\frac{FL}{\alpha . l} \text{ ডাইন/সে. মি.}^2$$

(D) **পয়সনের অনুপাতের মান** (Value of Poisson's ratio) :

এই ক্ষেত্রে যখন কোন তারে টান দিয়া দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি করা হয় তখন তারের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে তারের ব্যাস কিছু হ্রাস পায়; অর্থাৎ তার সরু হওয়ার ফলেই পার্শ্বীয়-বিকৃতি ঘটে। ধরা যাক্, কোন তারের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য$=L$ এবং ব্যাস$=D$; বলপ্রয়োগের পর ইহার দৈর্ঘ্য$=L'$ এবং আনুষঙ্গিক ব্যাস D' হইল।

$$\therefore \text{ পার্শ্বীয়-বিকৃতি}=\frac{D-D'}{D}=\frac{d}{D} (\text{সংখ্যা})$$

($D-D'=d$ ধরিয়া)

$$\text{অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি}=\frac{L'-L}{L}=\frac{l}{L} \text{ (সংখ্যা)}$$

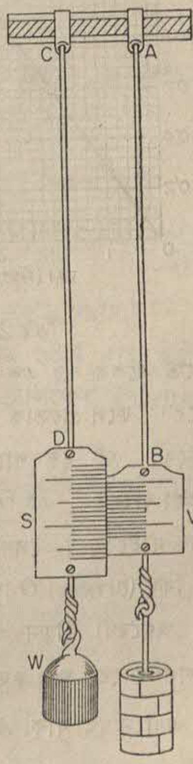
($L'-L=l$ ধরিয়া)

অতএব পয়সনের অনুপাত (σ)$=\frac{d}{D}\Big/\frac{l}{L}=\frac{d.L}{D.l}$ (সংখ্যা)

উপরের আলোচনা হইতে বোঝা যায় যে, তিন প্রকার স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কের এককই এক, কিন্তু পয়সনের অনুপাতের একক ভিন্ন।

2.5(b) **পরীক্ষাগারে ইয়ং গুণাঙ্ক নির্ণয়** (Detrmination of Young's modulus in the laboratory) ঃ

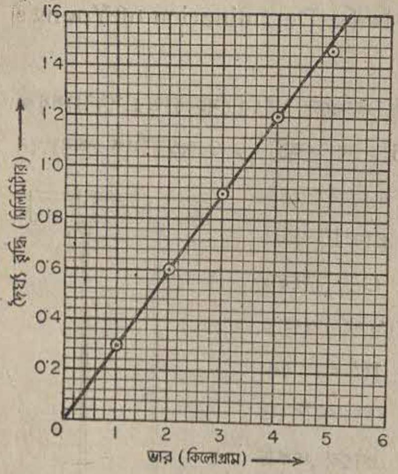
যে পদার্থের ইয়ং গুণাঙ্ক বাহির করিতে হইবে সেই ধাতুর সমব্যাসযুক্ত দুই গাছি তার *AB* ও *CD* (চিত্র 2.5) লইয়া একটা দৃঢ় ও অনুভূমিক অবলম্বন হইতে পাশাপাশি ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। ইহাদের মধ্যে *AB*, পরীক্ষাধীন তার (লম্বায় প্রায় 10 ফুট) ও *CD* সূচক (*reference*) তার। *CD* তারের *D* প্রান্তে একটি মিলিমিটার স্কেল (*S*) এবং স্কেলের নিম্নপ্রান্তে হুকের সাহায্যে একটি ভার (*W*) লাগানো থাকে, যাহাতে *CD* তারটি টান টান হইয়া থাকিতে পারে। অনুরূপে *AB* তারের *B* প্রান্তে একটি ভার্নিয়ার স্কেল *V* এবং ইহার নিম্নপ্রান্তে একটি হুকে একাধিক ভার ঝোলানোর ব্যবস্থা থাকে। তার দুইটিকে এমনভাবে পাশাপাশি ঝোলানো হয় যাহাতে ভার্নিয়ার *V*, মূলস্কেল, *S*-এর গা বাহিয়া বাধাহীনভাবে চলাচল করিতে পারে। *AB* তারের হুকেও একটি স্থিরভার (Dead load) চাপাইয়া উহাকে টান টান করিয়া রাখা হয়।



চিত্র 2.5

এই অবস্থায় মূলস্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ লইতে হইবে। ইহাই প্রাথমিক পাঠ। তারপর *AB* তারের হুকে এক কিলোগ্রাম করিয়া ভার চাপানো হয়। ফলে *AB* তারের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি ঘটে এবং ভার্নিয়ার স্কেল নীচে নামিয়া যায়। এই অবস্থায় পুনরায় ভার্নিয়ার ও মূল স্কেলের পাঠ লইতে হয় এবং এই পাঠ হইতে প্রথম পাঠ বিয়োগ করিলে এক কিলোগ্রামের জন্য তারের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি পাওয়া যাইবে। এইরূপ পরপর কয়েকটি এক কিলোগ্রাম চাপাইয়া প্রত্যেক বারই এক কিলোগ্রামের জন্য *AB* তারের দৈর্ঘবৃদ্ধি পাওয়া যাইবে। অবশ্য

লক্ষ্য রাখিতে হইবে যেন মোট চাপানো ভারের পরিমাণ AB তারের স্থিতিস্থাপক সীমা অতিক্রম করিয়া না যায়। ইহা জানিবার জন্য পূর্ব হইতেই AB তারের অসহভার হিসাব করিয়া লইতে হইবে। একটি স্ক্রু-গেজের সাহায্যে তারটির ব্যাস (d) মাপিয়া তারটির প্রস্থচ্ছেদ ($\pi d^2/4$) বাহির করিতে হইবে এবং এই প্রস্থচ্ছেদকে তারের উপাদানের অসহ-পীড়ন (তালিকা দেওয়া থাকে) দ্বারা গুণ করিলে অসহভার পাওয়া যাইবে। সাধারণতঃ AB তারের হুকে চাপানো মোট ভার তারটির অসহভারের অর্ধেকের বেশী হওয়া উচিত নয়।



চিত্র 2.6

অতঃপর AB তারের হুক হইতে একের পর এক ভার কমাইয়া পুনরায় প্রত্যেকবার স্কেলের পাঠ লইতে হইবে। ফলে প্রত্যেক ভার-বৃদ্ধি ও হ্রাসের জন্য দুইবার করিয়া পাঠ পাওয়া যাইবে। এই দুই পাঠের গড় হইতে বিভিন্নভার ও আনুষঙ্গিক দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি পাওয়া যাইবে। এই বিভিন্নভার ও দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি লইয়া একটি লেখচিত্র আঁকিলে দেখা যাইবে যে, লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হইবে এবং রেখাটি অক্ষ দুইটির মূল বিন্দু (*origin*) O দিয়া যাইবে (চিত্র 2.6)। ইহা হইতেই প্রমাণিত হয় যে, অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও বিকৃতি সমানুপাতিক। এই লেখচিত্র হইতে কোন অজানা ভারের জন্য কতটা দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি হইবে তাহা জানা যাইবে।

এখানে ধরা যাক্, AB তারের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি L সে.মি. ব্যাসার্ধ $r\left(=\frac{d}{2}\right)$ সে.মি. এবং m গ্রাম ভরের জন্য গড় দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি l সে. মি.।

$$\therefore \text{ অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন} = \frac{mg}{\pi r^2} \text{ এবং অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি} = \frac{l}{L}$$

$$\therefore \text{ ইয়ং গুণাঙ্ক } (\gamma) = \frac{mg}{\pi r^2} \Big/ \frac{l}{L} = \frac{mgL}{\pi r^2 l} \text{ ডাইন/সে. মি}^2.$$

এই সমীকরণের ডানদিকের সমস্ত রাশির মান জানা থাকে বলিয়া γ-এর মান নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ (Examples) ঃ

(1) 20 কিলোগ্রাম ভরের কোন ওজন 600·5 সে.মি. দীর্ঘ একটি তারের প্রান্তে ঝুলানো আছে। তারটির প্রস্থচ্ছেদ 1 বর্গমিলিমিটার। ভারটি সরানোর পর তারটির দৈর্ঘ্য 600 সে.মি. হইল। তারের পদার্থের ইয়ং গুণাঙ্ক কত ?

উত্তর ঃ ভারহীন অবস্থায় তারটির দৈর্ঘ্য=600 সে.মি.

ভারযুক্ত অবস্থায় তারটির দৈর্ঘ্য=600·5 সে.মি.

∴ দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি=600·5 − 600=0·5 সে.মি.

∴ তারটির দৈর্ঘ্য-বিকৃতি=$\frac{0·5}{600}$।

তারে প্রযুক্ত বল=20 কিগ্রা×g=$20\times10^3\times981$ ডাইন।

তারের প্রস্থচ্ছেদ=1 মি.মি.^{2}=·01 সে.মি.^{2}

∴ তারটির দৈর্ঘ্য-পীড়ন=$\frac{20\times10^3\times981}{·01}$ ডাইন/সে.মি.^{2}

∴ তারের পদার্থের ইয়ং গুণাঙ্ক (Y)=$\frac{\text{দৈর্ঘ্য-পীড়ন}}{\text{দৈর্ঘ্য-বিকৃতি}}=\frac{20\times10^3\times981}{·01}\times\frac{600}{0·5}$

=$2·3544\times10^{12}$ ডাইন/সে.মি.^{2}

(2) 10 সে.মি. ব্যাসার্ধের একটি গোলকের উপর 38·4 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে উহার আয়তন 0·064 সি.সি. (c.c.) হ্রাস পায়। গোলকের উপাদানের আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

উত্তর ঃ গোলকটির প্রাথমিক আয়তন=$\frac{4}{3}\pi r^3$, (r=গোলকের ব্যাসার্ধ)

=$\frac{4}{3}\times3·14\times10^3$ সি.সি.

গোলকটির আয়তন হ্রাস=0·064 সি.সি.

∴ গোলকটির আয়তন-বিকৃতি=$\frac{0·064\times3}{4\times3·14\times10^3}$

আবার, গোলকের উপর চাপ=গোলকের আয়তন-পীড়ন

=38·4 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ=$38·4\times H.\rho g$,

=$38·4\times76\times13·6\times981$ ডাইন/সে.মি.^{2}

(এখানে H=ব্যারোমিটারে পারদের উচ্চতা, ρ=পারদের ঘনত্ব)

∴ গোলকের আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক=$\frac{\text{আয়তন-পীড়ন}}{\text{আয়তন-বিকৃতি}}$

$$=\frac{38·4\times76\times13·6\times981\times4\times3·14\times1000}{0·064\times3}$$

=$2·549\times10^{12}$ ডাইন/সে.মি.^{2}

(3) 2 মিটার লম্বা ও 1 মি.মি. ব্যাসযুক্ত একটি লোহার তারের এক প্রান্তে একটি 16 কিলোগ্রাম ওজন ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। লোহার ইয়ং-গুণাঙ্ক $1{\cdot}995\times10^{12}$ ডাইন/সে.মি.^{2} হইলে তারটির কতটুকু দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি হইবে?

উত্তর : তারটির প্রাথমিক দৈর্ঘ্য=2 মিটার=200 সে.মি.

তারটির ব্যাসার্ধ=$\frac{1}{2}$ মি.মি.=$\cdot5$ মি.মি.=$\cdot05$ সে.মি.

তারে প্রযুক্ত বল=mg=16 কিগ্রা.$\times g=16\times10^3\times981$ ডাইন

লোহার ইয়ং-গুণাঙ্ক=$Y=1{\cdot}995\times10^{12}$ ডাইন/সে.মি.^{2}

∴ ইয়ং-গুণাঙ্কের সংজ্ঞানুসারে,

$$Y=\frac{mgL}{\pi r^2 l} \text{ ডাইন/সে.মি.}^2 \text{ বা } l=\frac{mgL}{\pi r^2 Y}$$

$$\therefore \text{ দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি}=l=\frac{16\times10^3\times981\times200}{3{\cdot}14\times(\cdot05)^2\times1{\cdot}995\times10^{12}} \text{ সে. মি.}$$

$$=\mathbf{0{\cdot}2} \text{ সে. মি.}$$

(4) 5 সে.মি. ব্যাসার্ধযুক্ত একটি লোহার গোলকের প্রতি বর্গইঞ্চিতে 0·1 টন জলের চাপ প্রয়োগ করা হইল। গোলকটির আয়তনের হ্রাস কত হইবে? (লোহার আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক=14×10^{11} ডাইন/সে.মি.^{2})

উত্তর : গোলকটির প্রাথমিক আয়তন, $V=\frac{4}{3}\pi r^3$

$$=\frac{4}{3}\times3{\cdot}14\times5^3.$$

গোলকটির আয়তন-পীড়ন $(p)=\frac{0{\cdot}1 \text{ টন}}{\text{ইঞ্চি}^2}$

$$=\frac{\cdot1\times20\times4\times28\times32{\cdot}0\times13825}{2{\cdot}54\times2{\cdot}54} \text{ ডাইন/সে. মি}^2.$$

এখন, আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক, $K=\frac{pV}{v}$ ডাইন/সে মি^{2}.

$$\therefore\ v=\frac{pV}{K}=\frac{4\times3{\cdot}14\times5^3\times\cdot1\times20\times4\times28\times32{\cdot}0\times13825}{3\times2{\cdot}54\times2{\cdot}54\times14\times10^{11}}$$

[∵ 1 পাউণ্ড-ভার=32·0 পাউণ্ড এবং 1 পাউণ্ডাল=13825 ডাইন]

$$=\mathbf{5{\cdot}8\times10^{-2}} \text{ সি. সি. } (c.\ c)$$

প্রশ্নাবলী

1. বস্তুর স্থিতিস্থাপকতা বলিতে কি বুঝায়? রবার ও লোহার মধ্যে কোন্‌টি বেশী স্থিতিস্থাপক বুঝাইয়া লেখ।

[What is meant by the term elasticity of matter. Explain which one is more elastic, iron or rubber ?]

2. সংজ্ঞা লিখ : (i) পূর্ণ স্থিতিস্থাপক, (ii) সম্পূর্ণ দৃঢ়, (iii) স্থিতিস্থাপক সীমা, (iv) অসহ ভার, (v) নতি বিন্দু।

[Write down the definitions of the followings : (i) perfectly elastic, (ii) perfectly rigid, (ii) elastic limit, (iv) breaking load, (v) yield point.]

3. পীড়ন ও বিকৃতি বলিতে কি বুঝায় ? হুকের সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর।

[Explain the terms—stress and strain of a body. State and explain Hooke's Law.]

4. বিভিন্ন প্রকার স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ এবং ইহাদের মান নির্ণয় কর।

[Define different moduli of elasticity and determine their values.]

5. ঈয়ং-গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। কিভাবে একটি ইস্পাতের তারের ঈয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয় করিবে ?

[Define Young's modulus of elasticity. How do you determine the Young's modulus for a steel wire ?]

6. (i) 2 মিটার লম্বা এবং ·5 মিলিমিটার ব্যাসের একটি তামার তারে 3 কিলোগ্রাম ভার ঝুলাইয়া দিলে তারটির 2·38 মিলিমিটার দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি ঘটিল। তারটির ঈয়ং-গুণাঙ্ক বাহির কর।

[A copper wire 2 metres in length and ·5 m.m. in diameter is stretched by a weight of 3 kgm. and the elongation of the wire is 2·38 m.m. Find out the Young's modulus of the material of the wire.] [Ans. $1{\cdot}26 \times 10^{12}$ ডাইন/সে.মি.^{2}]

(ii) কোন তারের প্রতি বর্গমিলিমিটার ক্ষেত্রফলে 1 কিলোগ্রাম ওজনের পীড়ন প্রযুক্ত হইল। তারটির ঈয়ং-গুণাঙ্ক যদি 10^{12} ডাউন/সে.মি.^{2} হয়, তবে ইহার শতকরা দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি কত হইবে ?

[A stress of 1 kgm per square millimeter is applied to a wire of which the young's modulus is 10^{12} dynes/cm^2. Find the percentage increase in length.] [Ans. 0·00981%]

(iii) কি পরিমাণ বলপ্রয়োগ করিলে 1 বর্গসেন্টিমিটার প্রস্থচ্ছেদযুক্ত কোন লোহার তারের দৈর্ঘ্য বাড়িয়া দ্বিগুণ হইবে ?

[What force would be required to stretch a steel wire of 1 sq. cm. cross-section to double its length ?]

[Ans. 2×10^{12} ডাইন]

(iv) 1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে একটি কঠিন পদার্থের আয়তন 3500 সি. সি. (c. c.) ; উহার চাপ 25 বায়ুমণ্ডলীয় চাপের সমান করিলে উহার আয়তনের কি পরিবর্তন হইবে ? কঠিনের আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক $= 10^{12}$ ডাইন/সে.মি.^{2}

[The volume of a solid is 3500 c.c. under 1 atmospheric pressure. What will be its change of volume, when subjected to a pressure of 25 atmospheres. Bulk modulus of the solid $= 10^{12}$ dynes/cm^2.] [Ans. 0·085 সি.সি.]

———

তৃতীয় অধ্যায়

উদ্‌স্থিতি বিদ্যা (Hydrostatics)

3.1. সূচনা (Introduction) :

তরল বা গ্যাসীয় পদার্থের সাধারণ গুণাবলী সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করাই উদ্‌স্থিতি বিদ্যার উদ্দেশ্য। তরল পদার্থ কঠিন পদার্থ হইতে সম্পূর্ণ স্বতন্ত্র কতকগুলি বৈশিষ্ট্যের অধিকারী। যেমন, তরলের কোন নির্দিষ্ট আয়তন থাকিলেও, কোন নির্দিষ্ট আকার নাই ; যে পাত্রে রাখা হয় তরল সেই পাত্রেরই আকার ধারণ করে। গ্যাসীয় পদার্থের আবার কোন নির্দিষ্ট আয়তনও নাই ; যখন যে পাত্রে রাখা হয় তখন সেই পাত্রের পুরোটাই সেই গ্যাসের আয়তন। তরল পদার্থের এইরূপ নানা বৈশিষ্ট্য এই অধ্যায়ে আলোচিত হইবে।

3.2. ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব (Density and specific gravity) :

কোন বস্তুর ঘনত্ব বলিতে আমরা বুঝি ইহার **একক আয়তন পদার্থের ভর**। যদি বস্তুটির আয়তন v সি. সি. (c. c.) এবং ভর M গ্র্যাম (gms.) হয় তবে ইহার ঘনত্ব$=\frac{M}{v}$ গ্র্যাম/সি. সি. (gms./c. c.)। অতএব ঘনত্বের একটি একক থাকিবে এবং সি. জি. এস্-পদ্ধতিতে ইহা হইল গ্র্যাম/সি.সি.।

আবার সমান আয়তনের বিভিন্ন বস্তু ওজন করিলে দেখা যায় উহাদের ভর বিভিন্ন। সমান আয়তনের একটি কাঠের বল অপেক্ষা একটি লোহার বল বেশী ভারী অর্থাৎ লোহার ভর কাঠের ভর অপেক্ষা বেশী। ঘনত্বের ভাষায় লোহার ঘনত্ব কাঠের ঘনত্ব অপেক্ষা অধিক।

বিভিন্ন বস্তুর ওজনের মধ্যে এইরূপ পার্থক্য হওয়ায় তুলনার জন্য সমান আয়তনের কোন প্রামাণিক পদার্থ (standard substance) অপেক্ষা বস্তুটি কতগুণ ভারী বা হাল্কা তাহা দেখা হয়। **বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব বলিতে বুঝায় সমান আয়তনের প্রামাণিক পদার্থের তুলনায় বস্তুটি কতগুণ ভারী বা হাল্কা।**

কঠিন ও তরল পদার্থের ক্ষেত্রে 4°C উষ্ণতার বিশুদ্ধ জলকে প্রামাণিক পদার্থ ধরা হয়। গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে স্বাভাবিক চাপ ও উষ্ণতায় (N.T.P) হাইড্রোজেন গ্যাসকে প্রামাণিক পদার্থ বলিয়া ধরা যায়।

অতএব কঠিন ও তরলের ক্ষেত্রে,

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব } (S)=\frac{\text{বস্তুর ভার}}{4^{\circ}\text{C উষ্ণতায় সমআয়তন জলের ভার}}$$

যেহেতু, কোন নির্দিষ্ট স্থানে বস্তুর ভর ইহার ভারের আনুপাতিক,

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক গুরুত্ব } (S)=\frac{\text{বস্তুর ভর}}{4^{\circ}\text{C উষ্ণতায় সমআয়তন জলের ভর}}$$

$$=\frac{\text{একক আয়তন বস্তুর ভর}}{4^{\circ}\text{C উষ্ণতায় একক আয়তন জলের ভর}}$$

$$=\frac{\text{বস্তুর ঘনত্ব}}{4^{\circ}\text{C উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব}}$$

বস্তুর ঘনত্বকে ρ এবং 4°C-এ জলের ঘনত্বকে ρ' ধরিয়া, আপেক্ষিক গুরুত্ব $(S)=\frac{\rho}{\rho'}$, অর্থাৎ, বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্বকে আপেক্ষিক ঘনত্বও বলা যায়। ইহা একটি সংখ্যা মাত্র।

3.2a. ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের মধ্যে পার্থক্য (Difference between density and specific gravity) :

ঘনত্ব হইল একক আয়তন পদার্থের ভর, ফলে ইহার একক আছে। কিন্তু আপেক্ষিক গুরুত্ব একটি অনুপাত মাত্র—ফলে ইহা সংখ্যায় প্রকাশ করা হয়।

সি. জি. এস্-পদ্ধতিতে এক সি. সি. জলের 4°C উষ্ণতায় ভর হইতেছে এক গ্র্যাম।

$$\therefore \quad S=\frac{\rho \text{ গ্র্যাম/সি. সি.}}{1 \text{ গ্র্যাম/সি. সি.}}=\rho.$$

অর্থাৎ, **সি. জি. এস্. এককে ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের মান সমান**। তবে আপেক্ষিক গুরুত্বের কোন একক নাই, ঘনত্বের একক আছে। উদাহরণস্বরূপ, পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব (S)=13·6 ; ইহার অর্থ কোন আয়তন পারদ সমআয়তন জলের চেয়ে 13·6 গুণ ভারী। ঘনত্বের বেলায় পারদের ঘনত্ব (ρ)=13·6 গ্র্যাম/সি. সি., ইহার অর্থ পারদের একক আয়তনের ভর 13·6 গ্র্যাম।

3.2b আপেক্ষিক গুরুত্বে উষ্ণতা সংশোধন (Temperature correction in specific gravity) :

সাধারণতঃ পরীক্ষাগারে জলের উষ্ণতা 4°C-এর বেশি থাকে। ধরা যাক এই উষ্ণতা t°C।

সেক্ষেত্রে, আপেক্ষিক গুরুত্ব $=\dfrac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{সমআয়তন জলের } 4°C\text{-এ ভর}}$

$=\dfrac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{সমআয়তন জলের } t°C\text{-এ ভর}}\times\dfrac{\text{সমআয়তন জলের } t°C\text{-এ ভর}}{\text{সমআয়তন জলের } 4°C\text{-এ ভর}}$

$=$লব্ধ আপেক্ষিক গুরুত্ব $\times\, t°C$-এ জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব।

পরীক্ষাগারে, $t°C$-এ জলের ঘনত্ব (বা আপেক্ষিক গুরুত্ব) বাহির করিয়া উপরের সমীকরণ হইতে বস্তুর অপেক্ষিক গুরুত্ব পাওয়া যাইবে।

উদাহরণ (Examples) :

(1) সীসার আপেক্ষিক গুরুত্ব 11·4 হইলে ইহার ঘনত্ব কত হইবে?

উত্তর : সীসার আপেক্ষিক গুরুত্ব $=\dfrac{\text{একক আয়তন সীসার ভর}}{\text{একক আয়তন জলের ভর}}$

$=\dfrac{\text{সীসার ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}}$

$\therefore$ সীসার ঘনত্ব $=$ সীসার আপেক্ষিক গুরুত্ব $\times$ জলের ঘনত্ব।

এখন, সি. জি. এস্.-পদ্ধতিতে একক আয়তন জলের ভর 1 গ্র্যাম (4°C উষ্ণতায়) বা জলের ঘনত্ব $=$ 1 গ্র্যাম/সি. সি.

$\therefore$ সীসার ঘনত্ব $=11{\cdot}4\times1$ গ্র্যাম/সি. সি. $=$ **11·4 গ্র্যাম/সি. সি.**

(2) একখণ্ড পাথরের ওজন 1000 গ্রাম ও আয়তন 400 সি. সি.। ইহার ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

উত্তর : পাথরটির ঘনত্ব $=\dfrac{\text{পাথরটির ভর}}{\text{পাথরটির আয়তন}}$

$=\dfrac{1000 \text{ গ্র্যাম}}{400 \text{ সি. সি.}}=$ **2·5 গ্র্যাম/সি. সি.**

আবার পাথরটির আপেক্ষিক গুরুত্ব $=\dfrac{\text{পাথরটির ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}}=\dfrac{2{\cdot}5 \text{ গ্র্যাম/সি. সি.}}{1 \text{ গ্র্যাম/সি. সি.}}$

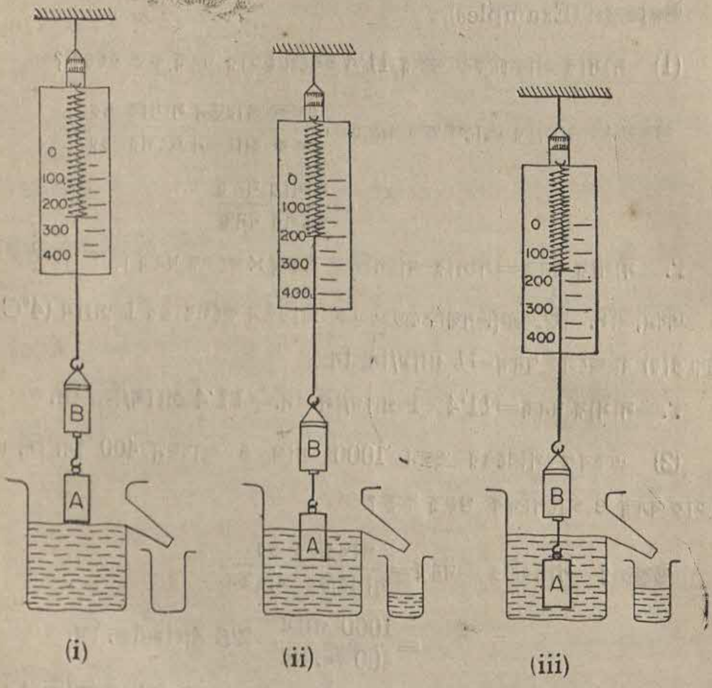
$=2{\cdot}5$

3.3 আর্কিমিডিসের সূত্র (Archimedes' Principle) :

আমরা দেখি যে, কোন জিনিস জলে ডুবাইলে জলের ভিতর জিনিসটা হাল্কা বোধ হয়। জলভর্তি কলসী জলের মধ্যে সহজেই নাড়াচাড়া করা যায়। জলে সাঁতার কাটিলে মনে হয়, কোন অদৃশ্য শক্তি যেন জলের ভিতর হইতে আমাদের উপরের দিকে ঠেলিয়া দিতেছে—যাহার ফলে আমরা

সহজেই জলের উপর ভাসিয়া উঠি। এসবের কারণ কি? ইহার কারণ তলের উর্ধ্বচাপজনিত বল বা প্লবতা (*Buoyancy*)। ব্যাপারটা পরীক্ষার সাহায্যে বোঝার চেষ্টা করা যাক্।

পরীক্ষা: A একটি নিরেট ও B একটি ফাঁপা চোঙ (চিত্র 3·1)। সাধারণ অবস্থায় A চোঙটি B-এর ভিতর আঁটিয়া যায়, অর্থাৎ A-এর বাইরের আয়তন B-এর ভিতরের আয়তনের সমান। এখন একটি স্প্রিং তুলার হুক হইতে ফাঁপা চোঙটি (B) এবং ফাঁপা চোঙের তলায় হুক হইতে নীরেট চোঙটি



চিত্র 3.1

(A) ঝুলাইয়া দেওয়া হইল (চিত্র 3.1—*i*)। স্প্রিং তুলা হইতে ইহাদের ওজন লওয়া হইল। এখন পার্শ্বনলযুক্ত একটি জলপূর্ণ বীকারে নীরেট চোঙটির কিছু অংশ ডুবাইয়া দেওয়া হইল (চিত্র 3.1—*ii*)। ফলে কিছু জল পার্শ্বনল দিয়া উপচাইয়া অন্য একটি ছোট বীকারে জমা হইবে। এছাড়া স্প্রিং তুলা ইহাদের কিছু কম ওজন নির্দেশ করিবে। নীরেট চোঙটিকে এভাবে জলে ডুবাইতে থাকিলে আরও জল উপচাইয়া পড়িবে এবং স্প্রিং তুলা আরো কম ওজন নির্দেশ করিবে। অবশেষে নীরেট চোঙটি সম্পূর্ণভাবে জলে

নিমজ্জিত হইলে (চিত্র 3.1—iii) দেখা যাইবে, স্প্রিং তুলায় সর্বনিম্ন ওজন নির্দেশ করিতেছে। অর্থাৎ, চোঙটির গভীরতা আরও বাড়াইলে এই ওজনের আর কোন তারতম্য ঘটিবে না ; এবং আর জল উপচাইয়া পড়িবে না। এই অবস্থায় (অর্থাৎ নীরেট চোঙটি সম্পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায়) ছোট বিকারের উপচানো জল ফাঁপা চোঙে (B) ঢালিয়া দিলে তাহা পূর্ণ হইয়া যাইবে এবং দেখা যাইবে যে স্প্রিং তুলা পুনরায় নীরেট চোঙটি জলে ডুবাইবার পূর্বের ওজন (চিত্র 3.1—i) নির্দেশ করিতেছে। অন্তর্বর্তী অবস্থাতেও (চিত্র 3.1—ii) যদি উপচানো জল ফাঁপা চোঙে ঢালিয়া নীরেট চোঙের নিমজ্জিত অংশ অপরিবর্তিত রাখা সম্ভব হয় তাহা হইলে স্প্রিং তুলা পুনরায় প্রথম অবস্থার (চিত্র 3.1—i) ওজন নির্দেশ করিবে।

উপরের পরীক্ষা হইতে আমরা নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তগুলি করিতে পারি :

(i) কোন বস্তু জলে আংশিক বা সম্পূর্ণভাবে নিমজ্জিত করিলে বস্তুটি তাহার সমান আয়তনের জল অপসারণ করে এবং এই অবস্থায় বস্তুটির ওজন কিছুটা কমিয়া যায়।

(ii) বস্তুটির ওজনের এই আপাতহ্রাস অপসারিত জলের ওজনের সমান।

(iii) অপসারিত জলের ওজনের সমান বল (প্লবতা) জলের ভিতর বস্তুটির উপর ঊর্ধ্বদিকের ক্রিয়া করিয়া বস্তুটির ওজনের আপাতহ্রাস ঘটায়।

উপরের পরীক্ষাটিতে জল ব্যবহার না করিয়া অন্য যে কোন তরল ব্যবহার করিলেও উপরি-উক্ত সিদ্ধান্তগুলিতে আসা যাইবে।

তরলে নিমজ্জিত বস্তুর ওজনের আপাতহ্রাসের এই তথ্যটির আবিষ্কার করেন বিশ্ববিখ্যাত বৈজ্ঞানিক আর্কিমিডিস্। **আর্কিমিডিসের সূত্র** হইল নিম্নরূপ :

কোন বস্তুকে কোন তরলে সম্পূর্ণ বা আংশিকভাবে নিমজ্জিত করিলে বস্তুর ওজন হ্রাস পায় এবং এই হ্রাস বস্তুটি যে পরিমাণ তরল অপসারণ করে, তাহার ওজনের সমান হয়।

উদাহরণ (Examples) :

(1) বায়ুতে একখণ্ড পাথরের ওজন 1 কে.জি. এবং জলে ইহার ওজন 600 গ্র্যাম। ইহার আয়তন ও ঘনত্ব কত?

উত্তর : আর্কিমিডিসের সূত্রানুসারে,

জলে পাথরটির ওজনের আপাতহ্রাস=1 কে.জি.—600 গ্র্যাম

=1000 গ্র্যাম—600 গ্র্যাম=400 গ্র্যাম।

∴ পাথরটি 400 গ্র্যাম ওজনের জল অপসারণ করে এবং এই জলের আয়তনই পাথরটির আয়তন।

∵ পাথরটির আয়তন=400 সি. সি.।

এবং পাথরটির ঘনত্ব $=\frac{1000 \text{ গ্র্যাম}}{400 \text{ সি. সি.}}=$ **2·5 গ্র্যাম/সি. সি.**।

(2) একটি 3 সে. মি. দৈর্ঘ্যের ঘনকের বায়ুতে ওজন 67 গ্র্যাম, তরল মোমে ওজন 46 গ্র্যাম ও লবণজলে ওজন 35 গ্র্যাম। মোম ও লবণ জলের ঘনত্ব নির্ণয় কর।

উত্তর ঃ ঘনকটির আয়তন $=3\times3\times3$ সে. মি.^{3}=27 সি. সি.।

∴ মোমে নিমজ্জিত করিলে ঘনকটি 27 সি. সি. আয়তনের তরল মোম অপসারিত করে।

আর্কিমিডিসের সূত্রানুসারে, এই আয়তন তরল মোমের ওজনই মোমে নিমজ্জিত ঘনকের ওজনের আপাতহ্রাসের সমান।

∴ 27 সি. সি. মোমের ওজন=67 – 46=21 গ্র্যাম,

অনুরূপে, 27 সি. সি. লবণ জলের ওজন=67 – 35=32 গ্র্যাম।

∴ মোমের ঘনত্ব $=\frac{21}{27}=$ **0·78 গ্র্যাম/সি. সি.**

লবণ জলের ঘনত্ব $=\frac{32}{27}=$ **1·2 গ্র্যাম/সি. সি.**

(3) একটি রূপার খাদমিশ্রিত স্বর্ণমুকুটের ওজন 200 গ্র্যাম। ইহাকে জলে ডুবাইলে ইহার ওজন হয় 185 গ্র্যাম। মুকুটটিতে স্বর্ণ ও রৌপ্যের পরিমাণ নির্ণয় কর। (স্বর্ণের ঘনত্ব=19·3 গ্র্যাম/সি. সি. এবং রূপার ঘনত্ব= 10·3 গ্র্যাম/সি. সি.)

উত্তর ঃ ধরা যাক্ মুকুটটিতে x গ্র্যাম রূপার খাদ আছে।

∴ ইহাতে স্বর্ণের পরিমাণ $=200-x$ গ্র্যাম

∴ আবার মুকুটটির আয়তন=200 – 185=15 সি.সি.

স্বর্ণের আয়তন $=\frac{200-x}{19\cdot3}$ সি. সি. এবং রূপার আয়তন $=\frac{x}{10\cdot3}$ সি. সি.

∴ মুকুটটির আয়তন, $\frac{200-x}{19\cdot3}+\frac{x}{10\cdot3}=15$

বা, $x=102\cdot43$ গ্র্যাম=রূপার খাদের পরিমাণ।

∴ মুকুটটিতে সোনার পরিমাণ=200 – 120·43=**97·57 গ্র্যাম**।

3.4. ভাসন (Floatation) :

আমরা জানি কোন কোন বস্তু কোন তরলে ভাসিয়া থাকে, আবার কোন কোন বস্তু সেই তরলে ডুবিয়া যায়। ইহার কারণ কি ?

যখন কোন বস্তুকে কোন তরলে নিমজ্জিত করা হয় তখন ইহার উপর দুইটি বল ক্রিয়া করে—(i) বস্তুর ওজন জনিত বল (W) বস্তুটিকে নীচের দিকে টানে এবং (ii) তরলের প্লবতা (W') বস্তুটিকে উপরের দিকে ঠেলিয়া রাখে। এই দুই বল পরস্পর বিপরীতধর্মী এবং একই রেখা বরাবর ক্রিয়া করে—নতুবা বস্তুটিতে একটি গতির সঞ্চার হইত। এই দুই বলের পরিমাপের তারতম্যের উপর বস্তুটির জলে ডোবা বা ভাসা নির্ভর করে। সেই ক্ষেত্রে তিন রকমের অবস্থা সৃষ্টি হইতে পারে :

(i) যদি বস্তুটির ওজন তরলের প্লবতা বা বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ওজন অপেক্ষা বেশী হয় ($W > W'$) তবে বস্তুটি তরলে ডুবিয়া যাইবে। একখণ্ড পাথর বা লোহা এই কারণেই জলে ডুবিয়া যায়।

(ii) যদি কোন বস্তুর ওজন তরলের প্লবতার বা বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ওজনের সমান হয় ($W = W'$) তবে বস্তুটি তরলে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায় স্থির থাকিবে।

এক্ষেত্রে, বস্তুটির ঘনত্ব তরলের ঘনত্বের সমান হয়। এক ফোঁটা অলিভ তেল, জল ও অ্যালকোহলের সমান মিশ্রণে ডুবিয়া ভাসিয়া থাকে।

(iii) যদি বস্তুটির ওজন বস্তুটির সম্পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায় তরলের প্লবতা বা বস্তু কর্তৃত অপসারিত তরলের ওজন অপেক্ষা কম হয় ($W < W'$) তবে বস্তুটি তরলে আংশিক নিমজ্জিত থাকিয়া ভাসিয়া থাকিবে।

এক্ষেত্রে, বস্তুটির ওজন সমান আয়তন তরলের ওজন অপেক্ষা কম হয়। এই জন্যই একখণ্ড শোলা, কাঠ বা রবার জলে আংশিক ডুবিয়া ভাসিয়া থাকে ; একখণ্ড লোহা একই কারণে পারদে সামান্য ডুবিয়া ভাসিয়া থাকে।

অতএব কোন বস্তুকে কোন তরলে ভাসিয়া থাকিতে হইলে **ভাসনের শর্ত** (Condition of floatation) হইবে নিম্নরূপ :

(i) **ভাসমান বস্তুর ওজন বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ওজনের বা বস্তুটির প্লবতা-জনিত বলের সমান ;**

(ii) **বস্তুর ভারকেন্দ্র** (Centre of gravity) ও **অপসারিত তরলের ভারকেন্দ্র উর্ধ্বমুখী** কেন্দ্রীয় সরলরেখায় অবস্থিত থাকিবে।

নতুবা বস্তুটির ওজন ও প্লবতাজনিত বল সমান ও বিপরীতমুখী হওয়ায় উভয়ে মিলিয়া একটি দ্বন্দ্ব (couple) সৃষ্টি করিবে। ফলে বস্তুটি ঘুরিয়া যাইবে। আবার বস্তুটির সাম্যের জন্য বস্তুর ভারকেন্দ্র অপসারিত তরলের ভারকেন্দ্রের উপরে থাকিবে নতুবা বস্তুটি উল্টাইয়া যাইবে।

3.4a. ভাসনের কয়েকটি বাস্তব উদাহরণ (A few practical illustrations of floatation) :

(i) লোহা জলে ডুবিলেও লোহার জাহাজ জলে ভাসে :

স্বাভাবিক কারণে লোহা জলে ডোবে—কেননা লোহার ওজন ইহার সম-আয়তন জল অপেক্ষা অনেক বেশী। জাহাজ লোহার তৈরী হইলেও ইহার তলার দিকের আকৃতি এমন করিয়া করা হয় যাহাতে ইহার নিমজ্জিত অংশের সম-আয়তন জলের ওজন জাহাজের ওজনের সমান হয়। সেইজন্য জাহাজ জলে ভাসে। জাহাজে আরও মাল বোঝাই করিলে ইহা অধিকতর নিমজ্জিত হয় এবং এই অতিরিক্ত অপসারিত জলের ওজন অতিরিক্ত মালের ওজনের সমান হয়। অবশ্য জাহাজের বাইরের একটি বিশেষ দাগের (প্লিমসল রেখা) বেশি যাহাতে না ডোবে সেইদিকে লক্ষ্য রাখিয়া জাহাজে মাল বোঝাই হয়।

(ii) বরফ জলে ভাসে :

জল জমিয়া বরফ হইলেও বরফ জলে ভাসে। এর কারণ জল জমিয়া আয়তনে বাড়িয়া যায়—11 ভাগ জল আয়তনে 12 ভাগ বরফে পরিণত হয়। ফলে জল অপেক্ষা বরফের ঘনত্ব কম হওয়ায় বরফ জলে ভাসে। ভাসনের নিয়মানুসারে,

$$\frac{\text{নিমজ্জিত বরফের আয়তন}}{\text{বরফের মোট আয়তন}}=\frac{11}{12}$$

অর্থাৎ ভাসমান বরফের $\frac{11}{12}$ অংশ ডুবিয়া থাকে, $\frac{1}{12}$ অংশ বাহিরে থাকে।

(iii) সাবমেরিণ বা ডুবোজাহাজ :

তোমরা জান, সাধারণ জাহাজের সঙ্গে ডুবোজাহাজ বা সাবমেরিণের পার্থক্য হইল প্রয়োজনমত ইহাকে জলের তলায় ডুবানো বা জলের উপর ভাসানো যায়। ইহা সম্ভবপর হয় ইহার ওজন বাড়াইয়া এবং কমাইয়া। ইহার ভিতর কয়েকটি চৌবাচ্চা আছে। ডুবিবার সময় সমুদ্র হইতে এইগুলিতে জল ভরিয়া দেওয়া হয়—ফলে ইহা ভারী হইয়া উঠে। এই সময় ইহার ওজন ইহার সম-আয়তন জলের ওজনের সমান বা কিছু বেশি হয়। আবার ভাসিবার সময়

পাম্পের সাহায্যে পরিমাণমত জল বাহির করিয়া দেওয়া হয়, ফলে ইহা হাল্কা হইয়া ভাসিয়া উঠে। এই সময় ইহার ওজন ইহার নিমজ্জিত অংশের সম-আয়তন জলের ওজনের সমান করা হয়।

উদাহরণ (Examples) :

(1) একখণ্ড মোমের আয়তন 22 সি. সি.। ইহাকে জলে ভাসাইলে ইহার 2 সি. সি. আয়তন জলের উপরে থাকে। ইহার ভর ও ঘনত্ব কত?

উত্তর : 22 সি. সি. আয়তনের মোম জলে ভাসাইলে ইহার 2 সি. সি. জলের উপরে থাকে, অর্থাৎ $22-2=20$ সি. সি. জলের ভিতর থাকে।

ভাসনের সর্তানুসারে, 20 সি. সি. জলের ওজনই মোমটির ওজন,

অর্থাৎ মোমটির ওজন 20 গ্র্যাম।

$\therefore$ মোমটির ভর = **20 গ্র্যাম।**

এবং ঘনত্ব $=\frac{20}{22}=$ **0·909 গ্র্যাম/সি. সি.**

(2) একটি ফাঁপা গোলাকার বলের ভিতরের ব্যাসার্ধ 8 সে. মি. এবং বাইরের ব্যাসার্ধ 10 সে. মি.। ইহা এমন একটি তরলে ডুবিয়া ভাসিয়া থাকে যাহার আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·5। বলটির পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

উত্তর : বলটি ইহার আয়তনের সমান তরল অপসারণ করিয়া ভাসিয়া থাকে।

$\therefore$ বলটির আয়তন $=\frac{4}{3}\pi\times10^3=$ অপসারিত তরলের আয়তন।

$\therefore$ বলটির আয়তনের সমান তরলের ভর $=\frac{4}{3}\pi10^3\times1{\cdot}5$ গ্র্যাম।

আবার, বলটির পদার্থের আয়তন $=\frac{4}{3}\pi10^3-\frac{4}{3}\pi8^3=\frac{4}{3}\pi(10^3-8^3)$ সি. সি.

এবং ইহার ভর $=\frac{4}{3}\pi(10^3-8^3)\times S$ গ্র্যাম। [এখানে $S=$ বলের পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব]

$\therefore$ ভাসনের সর্তানুসারে বলটির ভর = ইহার সমান আয়তন তরলের ভর

অর্থাৎ $\frac{4}{3}\pi(10^3-8^3)\times S=\frac{4}{3}\pi10^3\times1{\cdot}5$

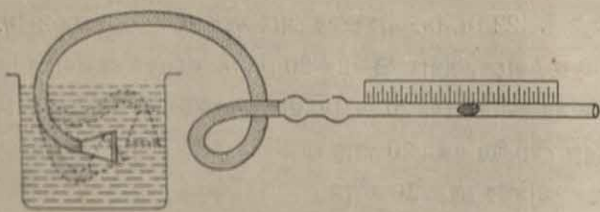
বা, $S=\frac{10^3\times1{\cdot}5}{10^3-8^3}=\mathbf{3{\cdot}08}.$

3·5 তরল পদার্থের মধ্যে চাপ (Pressure in fluids) :

তোমরা জান, কোন পাত্রে কোন তরল পদার্থ রাখিলে তরল পদার্থ পাত্রটির গাত্রে চাপ দেয় এবং এই চাপ তরলের গভীরতা বৃদ্ধির সঙ্গে বাড়ে।

তরলের অভ্যন্তরেও এই চাপের অস্তিত্ব বর্তমান। পরীক্ষার সাহায্যে দেখানো যায় যে, তরলের অভ্যন্তরে যে-কোন বিন্দুতে চাপ চতুর্দিকে সমান হয়।

পরীক্ষা : একটি কাচের ফানেলের মুখ একটি রবারের পর্দা দিয়া বাঁধিয়া দেওয়া হইল। ইহার অন্য প্রান্তটি একটি রবারের নলের সাহায্যে একটি সরু কাচ নলের সঙ্গে যুক্ত করা হইল (চিত্র 3.2)। এই সরু কাচনলে



চিত্র 3.2

এক ফোঁটা রঙিন জল রাখিয়া নলটিকে অনুভূমিক অবস্থায় রাখা হইল। নলটির গায়ে একটি স্কেল সংযুক্ত আছে। এখন রবারের পর্দাটিকে আঙুলের সাহায্যে চাপ দিলে দেখা যাইবে যে, নলের ভিতরের বাতাসের চাপে রঙিন জলবিন্দুটি কাচনলের অন্য প্রান্তের দিকে সরিয়া যাইতেছে। জল বা অন্য যে-কোন তরলপূর্ণ পাত্রে এখন ফানেলটিকে ডুবাইয়া কোন এক নির্দিষ্ট গভীরতায় ফানেলের মুখটিকে রাখা হইল। দেখা যাইবে যে, রঙিন জলবিন্দুটি কাচনলের অন্যপ্রান্তের দিকে কিছুটা সরিয়া স্থির হইল। এই অবস্থায় ফানেলের মুখটিকে নিচে, পার্শ্বে ও ঊর্ধ্বে ঘোরাইলে দেখা যাইবে যে, সকল অবস্থাতেই রঙিন জলবিন্দুটি একই অবস্থানে আছে। ফানেলটিকে এই অনুভূমিক তলের অন্য কোন স্থানে সরাইয়া বিভিন্ন দিকে ঘুরাইলেও রঙিন জলবিন্দুটি কোন স্থান পরিবর্তন করিবে না। এখন তরলের মধ্যে ফানেলটির গভীরতা আরও বাড়াইলে দেখা যাইবে যে, রঙিন জলবিন্দুটি কাচনলের খোলা মুখের দিকে আরও সরিয়া গিয়াছে। এই পরীক্ষা হইতে প্রমাণিত হইল যে—

(i) **তরলের ভিতর যে-কোন বিন্দুতে তরল চতুর্দিকে সমান-ভাবে চাপ দেয় ;**

(ii) **এক অনুভূমিক তরলের যে-কোন বিন্দুতেই তরলের চাপ চতুর্দিকে সমান ;**

(iii) **গভীরতার সঙ্গে তরলের চাপ বৃদ্ধি পায়।**

3.5a তরলের মধ্যে চাপের পরিমাপ (Magnitude of pressure in a fluid) **:**

তরলের মধ্যে কোন এক বিন্দুতে তরলের চাপ অর্থে বুঝায় ঐ বিন্দুর চারিদিকে একক ক্ষেত্রফলের উপর তরল-প্রযুক্ত বল। যদি A ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট কোন তলের উপর তরলের মোট ঘাত (*thurst*) T হয় তবে ঐ তলে তরলের চাপ (*pressure*) $P=T/A$। সি. জি. এস্.-পদ্ধতিতে চাপের একক হইবে ডাইন/সে. মি^{2}.।

ধরা যাক্, A ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট কোন তল কোন তরলের মুক্ততল হইতে h গভীরতায় অনুভূমিকভাবে নিমজ্জিত আছে (চিত্র 3.3)। ধরা যাক্ তরলের ঘনত্ব ρ এবং ঐ স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণ g। A তলের সীমানার প্রত্যেক বিন্দু হইতে কতকগুলি লম্ব এমনভাবে টানা হইল যাহাতে উহারা তরলের মুক্ততল পর্যন্ত পৌঁছে। A তলের উপর তরলের ঘাত হইবে ইহার উপর কল্পিত লম্বগুলির দ্বারা বেষ্টিত এই তরল স্তম্ভের ওজন। এই তরল স্তম্ভের আয়তন $V=A\times h$ এবং ওজন $W=mg=A.h.\rho.g$ ($\because$ তরলের ভর $m=V.\rho$)।



চিত্র 3.3

অতএব A ক্ষেত্রফলের উপর তরলের মোট ঘাত, $T=Ah\rho g$

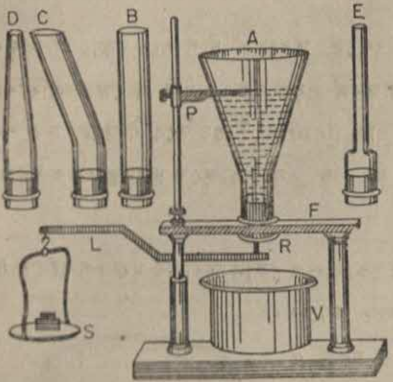
$$\therefore \text{ তরলের চাপ, } P=\frac{Ah\rho g}{A}=h.\rho.g.$$

অর্থাৎ, তরলের মধ্যে কোন বিন্দুতে তরলের চাপ (i) **বিন্দুটির গভীরতা,** (ii) **তরলের ঘনত্ব ও** (iii) **অভিকর্ষজ ত্বরণের সঙ্গে বাড়ে।**

3.5b. **ঔদকূট বা উদ্‌স্থৈতিক কূট** (Hydrostatic Paradox) **:**

আমরা দেখিলাম যে, A ক্ষেত্রফলের উপর **তরলের মোট চাপ** (ঘাত) **হইল** $Ah\rho g$। **অতএব কোন পাত্রের তলদেশে তরলের মোট চাপ পাত্রের তলদেশের ক্ষেত্রফল ও তরলের উচ্চতার উপর নির্ভর করে, পাত্রের আকৃতি বা আয়তনের উপর নির্ভর করে না।**

পরীক্ষা ঃ বিভিন্ন আকৃতি ও আয়তনের কিন্তু সমান প্রস্থচ্ছেদের ভূমি-বিশিষ্ট দুই মুখ খোলা কতকগুলি কাচের পাত্র *A*, *B*, *C*, *D*, *E* লওয়া হইল। ইহাদের প্যাসকেলের পাত্র বলে। ইহাদের প্রত্যেকে *F* পাটাতনের গর্তে স্ক্রু-এর মত পেঁচাইয়া আটকানো যায় (চিত্র 3.4)। একটি লিভার *L*-এর একপ্রান্তে একটি চাকতি, *R* পাটাতনের গর্তের তলার দিক হইতে জল নিরুদ্ধ অবস্থায় পাত্র-গুলির সঙ্গে লাগিয়া থাকিতে পারে এবং অন্যপ্রান্তে একটি তুলা পাত্র, (*S*)-এ ওজন চাপানো যায়। পাটাতনের সঙ্গে লম্বভাবে লাগানো একটি দণ্ডে একটি সূচক কাঁটা *P*-কে উঠা-নামা করানো যায়।



চিত্র 3.4

যে-কোন একটি পাত্র (*A*)-কে পাটাতনের সঙ্গে লাগানো হইল এবং তুলা পাত্রে কিছু ওজন দিয়া চাকতি *R*-কে পাত্রটির তলায় দৃঢ়ভাবে লাগানো হইল। এইবার পাত্রে জল ঢালিলে উহা চাকতিটিতে চাপ প্রয়োগ করিবে। তুলা পাত্রের ওজন এই চাপ ধারণ করিবার জন্য চাকতিটিতে বিপরীত দিক হইতে বলপ্রয়োগ করিবে। এইরূপে কিছুক্ষণ জল ঢালিবার পর চাকতিটির চাপ ধারণ-ক্ষমতার সীমা অতিক্রান্ত হইবে এবং চাকতি নীচে নামিয়া গেলে জল ফাঁক দিয়া বাহির হইয়া আসিবে। পাত্রের যতটা জলের উচ্চতা চাকতিটি ধারণ করিতে পারে সেই উচ্চতায় সূচকটিকে (*P*) লাগানো হইল।

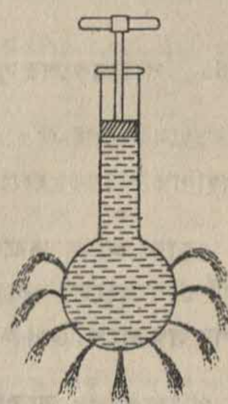
অতঃপর, *A* পাত্রটি খুলিয়া একের পর এক অন্য পাত্রগুলি পাটাতনে লাগাইয়া একই পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করা হইল। দেখা যাইবে যে, প্রত্যেক ক্ষেত্রেই জলের উচ্চতা সূচক সীমা অতিক্রম করিলেই চাকতিটির ফাঁক দিয়া জল বাহির হইয়া আসিবে।

এই পরীক্ষা হইতে প্রমাণিত হইল যে, পাত্রের তলায় তরলের মোট চাপ (বা ঘাত) তলদেশের ক্ষেত্রফল ও তরলের উচ্চতার উপর নির্ভরশীল—পাত্রের আকৃতি, আয়তন বা তরলের মোট পরিমাণের উপর নহে। আপাতদৃষ্টিতে অসম্ভব মনে হইলেও প্রকৃত সত্য বলিয়া এই ঘটনাকে **ঔদকূট** বলে।

3.6. তরল পদার্থের মধ্যে চাপ সঞ্চালন (Transmission of fluid pressure) ঃ

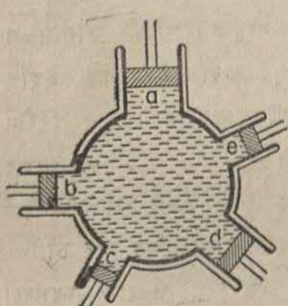
আবদ্ধ তরল পদার্থের কোন এক বিন্দুতে চাপ বৃদ্ধি করিলে অন্য যে-কোন বিন্দুতে সমানভাবে সেই চাপ সঞ্চালিত হয়। নীচের পরীক্ষার সাহায্যে তরলের এই ধর্মের অস্তিত্ব বুঝিতে পারা যায়।

প্রথম পরীক্ষা ঃ একটি ফাঁপা গোলকযুক্ত পিচকারীর গোলকটির গাত্রে বেশ কয়েকটি ছোট ছোট ছিদ্র আছে (চিত্র 3.5) এবং ছিদ্রগুলি মোম দ্বারা বন্ধ করা আছে। পিচকারীটি জলপূর্ণ করিয়া পিন দ্বারা ছিদ্রের মোমগুলি সরাইয়া পিস্টনে চাপ দিলে দেখা যাইবে যে, ছিদ্রগুলি হইতে জল সবেগে গোলকের তল হইতে লম্বভাবে ছড়াইয়া পড়িতেছে। **পিস্টনের উপর যে চাপ প্রয়োগ করা হইল সেই চাপ জলের ভিতর চতুর্দিকে সঞ্চালিত হয় এবং পাত্রের গাত্রে লম্বভাবে ক্রিয়া করে।**



চিত্র 3.5

দ্বিতীয় পরীক্ষা ঃ এই পরীক্ষায় প্রমাণিত হইবে যে, এই চাপ শুধু সর্বমুখীই নয়, সমানও বটে। একটি গোলাকার আবদ্ধ পাত্রের বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন প্রস্থচ্ছেদযুক্ত (a, b, c, d ইত্যাদি) কয়েকটি ছিদ্র আছে (চিত্র 3.6)। ছিদ্রগুলি জল-রোধক (water-tight) পিস্টন দিয়া বন্ধ করার ব্যবস্থা আছে। পাত্রটিকে জলপূর্ণ করিয়া পিস্টনগুলিকে স্ব-স্ব অবস্থানে লাগানো হইল। এখন ধরা যাক, a পিস্টনটিকে চাপ দেওয়া হইল। সঙ্গে সঙ্গে অন্য পিস্টনগুলি বাহিরের দিকে কিছুটা সরিয়া আসিবে অর্থাৎ a পিস্টন প্রযুক্ত চাপ তরলের সবদিকেই সঞ্চালিত হইল।



চিত্র 3.6

এখন ধরা যাক, a প্রস্থচ্ছেদযুক্ত পিস্টনে F_1 বলপ্রয়োগ করা হইল অর্থাৎ এই পিস্টনে F_1/a চাপ (P) প্রযুক্ত হইল। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যায় যে b, c, d প্রস্থচ্ছেদযুক্ত পিস্টনগুলিকে স্ব-স্ব স্থানে স্থির রাখিতে হইলে ইহাদের উপর

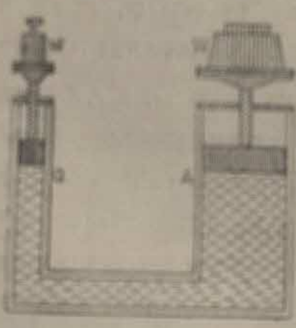
যথাক্রমে F_2, F_3, F_4 বলপ্রয়োগ করিতে হইবে যাহাতে $\frac{F_1}{a}=\frac{F_2}{b}=\frac{F_3}{c}=\frac{F_4}{d}$ ইত্যাদি হয়। অর্থাৎ সকল পিস্টনগুলিতে প্রযুক্ত চাপ সমান। ইহা হইতেই প্রমাণিত হইল যে, **তরলে প্রযুক্ত চাপ অপরিবর্তিত হারে চতুর্দিকে সঞ্চালিত হয়।** পিস্টনগুলির গতির অভিমুখ হইতে আরও বুঝিতে পারা যায় যে, এই চাপ পিস্টনগুলির উপর **লম্বভাবে** ক্রিয়া করিতেছে।

3.6a. প্যাসকেলের সূত্র (Pascal's law) :

তরলের মধ্যেই এই চাপ সঞ্চালনের নীতি প্যাসকেল একটি সূত্রের আকারে উপস্থাপিত করেন। ইহাকে প্যাসকেলের সূত্র বলে। সূত্রটি নিম্নরূপ :

কোন আবদ্ধ তরলের যে, কোন স্থানে চাপ প্রয়োগ করিলে সেই চাপ তরলের সর্বত্র সমান হারে সঞ্চালিত হয় এবং পাত্রের উপর লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

প্যাসকেলের সূত্রের প্রমাণ : একটি U আকৃতির দুই নলবিশিষ্ট পাত্রের একদিকের নল সরু ও অন্যটি মোটা। ধরা যাক, সরু নলটির প্রস্থচ্ছেদ a এবং মোটা নলটির প্রস্থচ্ছেদ A (চিত্র 3.7)। নল দুইটি অপর একটি নল দ্বারা সংযুক্ত। পাত্রটি কোন তরল দ্বারা পূর্ণ করা হইল এবং ইহার নল দুইটির মুখে জলরোধক পিস্টন লাগানো হইল। এখন যদি সরু নলের পিস্টনের উপর একটি কম ওজন w রাখা হয় তবে এই নলের উপর চাপ—w/a। এই চাপ তরলের মধ্যদিয়া মোটা নলে সঞ্চালিত হইবে এবং ইহার পিস্টনকে উপরে তুলিয়া দিবে। মোটা নলের পিস্টনকে স্বস্থানে রাখিতে হইলে ইহার উপর এমন একটি বেশি ওজন W রাখিতে হইবে যেক্ষেত্রে, $W=\frac{w}{a}A$ হইবে।



চিত্র 3.7

বা $\frac{W}{A}=\frac{w}{a}$, অর্থাৎ উভয় নলেই তরলের চাপ সমান হইবে।

উদাহরণস্বরূপ, যদি সরু নলের প্রস্থচ্ছেদ $a=1$ সে. মি.^{2} হয় এবং মোটা-নলের প্রস্থচ্ছেদ $A=50$ সে. মি.^{2} হয় তবে, সরু নলের পিস্টনে 1 কি. গ্রা. ওজন চাপাইলে মোটা নলকে স্থির রাখিবার জন্য ইহার উপর 50 কি. গ্রা. ওজন চাপাইতে হইবে। প্রকৃতপক্ষে তরলে চাপ সঞ্চালন নীতির অবলম্বনে বল বৃদ্ধিকরণই প্যাসকেলের সূত্রের মূলকথা।

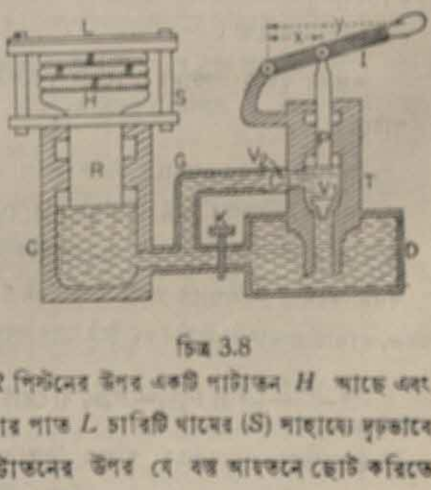
36.b প্যাসকেলের সূত্রের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical applications of Pascal's law) :

তরলে চাপ সঞ্চালন-পদ্ধতির মাধ্যমে বল-বৃদ্ধি করার একাধিক ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখা যায়। ইহাদের কয়েকটি নীচে আলোচিত হইল।

(i) হাইড্রলিক প্রেস (Hydraulic press) :

এই যন্ত্রে তরলের বলবৃদ্ধিকরণের নীতি অবলম্বনে প্রচণ্ড থাকের সৃষ্টি করা হয়। কাপড়, তুলার গাঁট প্রভৃতিকে চাপ দিয়া আয়তনে ছোট করা, বীজ হইতে তৈল নিষ্কাশন, লৌহদণ্ডের ক্ষমতা পরীক্ষা ও ধাতব পাতের উপর গর্ত তৈয়ারী প্রভৃতি কাজে এই যন্ত্রের ব্যবহার হয়।

বর্ণনা : চিত্রে (চিত্র 3.8) একটি হাইড্রোলিক প্রেসের নক্সা দেখান হইল। এই যন্ত্রে C ও T দুইটি সিলিণ্ডার একটি শক্ত নল G দ্বারা যুক্ত। C-এর প্রস্থচ্ছেদ T-এর প্রস্থচ্ছেদ অপেক্ষা বহুগুণ বেশি। R ও P দুইটি পিস্টন। I লিভারের সাহায্যে P পিস্টনটিকে T সিলিণ্ডারের ভিতর



চিত্র 3.8

যাতায়াত করানো যায়। R পিস্টনের উপর একটি পাটাতন H আছে এবং ইহার উপরে একটি শক্ত লোহার পাত L চারিটি থামের (S) সাহায্যে দৃঢ়ভাবে আটকানো আছে। H পাটাতনের উপর যে বস্তু আয়তনে ছোট করিতে হইবে তাহা রাখা হয়। D একটি জলাধার। ইহা হইতে জল V_1 ও V_2

ভাল্বের মধ্য দিয়া ছোট সিলিণ্ডার হইতে বড় সিলিণ্ডারে যায়। K কল খুলিয়া বড় সিলিণ্ডার হইতে জল জলাধারে (D) ফিরাইয়া আনা যায়।

কার্য-প্রণালী ঃ I লিভারের হাতল তুলিয়া P পিস্টনকে উপরে তুলিলে জলাধার D হইতে জল V_1 ভাল্বের মধ্য দিয়া T সিলিণ্ডারে ঢুকিয়া পড়ে। এই সময় V_2 ভাল্ব বন্ধ হইয়া যায়। এখন লিভারের হাতল চাপিয়া P পিস্টনকে নীচে নামাইলে V_1 ভাল্ব বন্ধ হইয়া V_2 ভাল্ব খুলিয়া যায় এবং P-এর চাপে জল G নলের মধ্য দিয়া বড় সিলিণ্ডার C-তে ঢুকিয়া পড়ে। এই সময় T কল বন্ধ থাকে। ফলে এই জল পিস্টন R-কে চাপ দিয়া উপরে তুলে। প্যাস্কেলের সূত্রানুযায়ী P পিস্টনের প্রযুক্ত চাপ অপরিবর্তিত হারে R পিস্টনে সঞ্চালিত হয় এবং R-এর প্রস্থচ্ছেদ P অপেক্ষা অনেক গুণ বেশি হওয়ায় R-এ প্রযুক্ত বল বহুগুণ বাড়িয়া যায়। ফলে H পাটাতনের উপরে রাখা বস্তু প্রচণ্ড চাপ অনুভব করে। এই বস্তুর আয়তন প্রয়োজনমত কমাইবার জন্য P পিস্টনকে কয়েকবার চালনা করা হয় পরে কল, T খুলিয়া দিলে C সিলিণ্ডারের জল R পিস্টনের চাপে জলাধারে (D) ফিরিয়া যায়।

যান্ত্রিক সুবিধা ঃ ধরা যাক্ ছোট সিলিণ্ডার T-এর প্রস্থচ্ছেদ α এবং বড় সিলিণ্ডার C-এর প্রস্থচ্ছেদ $\beta (\beta >> \alpha)$। P পিস্টনে প্রযুক্ত বল যদি F_1 এবং R পিস্টনে বর্ধিত বল F_2 হয়, তবে যান্ত্রিক সুবিধা$=\frac{F_2}{F_1}=\frac{\beta}{\alpha}$ (প্যাস্কেলের সূত্র হইতে)।

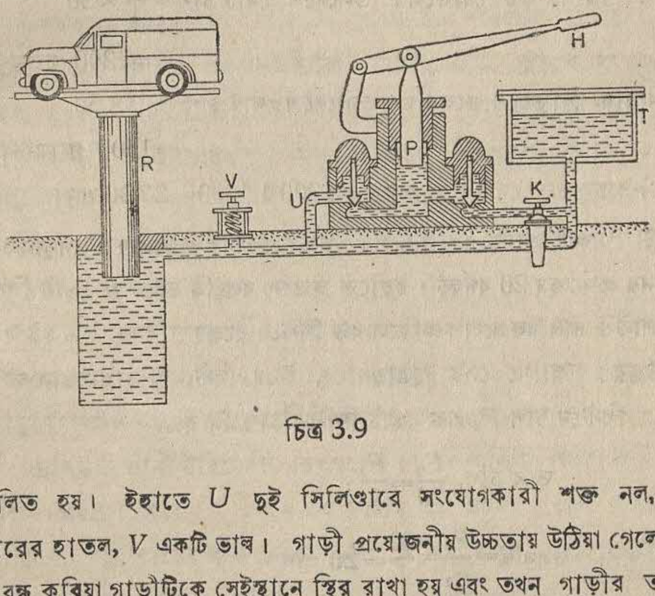
অতএব ছোট পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ যত কম হইবে বড় পিস্টনে বল তত বৃদ্ধি পাইবে।

এই যন্ত্রে কম বল প্রয়োগে অধিক বল পাওয়া যায় বলিয়া মনে হইতে পারে যে, শক্তির নিত্যতা সূত্র (Principle of conservation of energy) এক্ষেত্রে রক্ষিত নয়। কিন্তু তাহা ঠিক নহে। T সিলিণ্ডারে তরলের আয়তন যতটা কমে C সিলিণ্ডারে তরলের আয়তন ঠিক ততটাই বাড়ে। P পিস্টন x_1 নামাইলে যদি R পিস্টন x_2 উঠে তবে সর্বদাই $x_1\alpha = x_2\beta$ হয়। অর্থাৎ

$\frac{x_1}{x_2}=\frac{\beta}{\alpha}=\frac{F_2}{F_1}$ বা $F_1x_1=F_2x_2$ বা ছোট পিস্টনের কৃতকার্য$=$বড় পিস্টনের উপর কৃতকার্য। অতএব শক্তির নিত্যতাসূত্র রক্ষিত হইল। এই যন্ত্রে প্রযুক্ত বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণ অধিক কিন্তু উদ্ভূত বলের প্রয়োগবিন্দুর সরণ অল্প অর্থাৎ $x_1 >> x_2$।

(ii) **হাইড্রলিক জ্যাক** (Hydraulic Jack) :

মোটর গাড়ীর কারখানায় বা পেট্রল পাম্পে গাড়ী তুলিবার জন্য এই যন্ত্রের বহুল ব্যবহার দেখা যায়। ছবিতে (চিত্র 3.9) এইরূপ একটি যন্ত্র দেখা যাইতেছে। ইহার কার্য-প্রণালীও ঠিক হাইড্রলিক প্রেসের মত। ইহার বড় পিস্টন R-এর উপর একটি বড় পাটাতনে গাড়ী রাখিয়া ছোট পিস্টন P-তে সামান্য বল প্রয়োগ করিলে তেলের মাধ্যমে বল বড় পিস্টনে



চিত্র 3.9

সঞ্চালিত হয়। ইহাতে U দুই সিলিণ্ডারে সংযোগকারী শক্ত নল, H লিভারের হাতল, V একটি ভাল্ব। গাড়ী প্রয়োজনীয় উচ্চতায় উঠিয়া গেলে এই ভাল্ব বন্ধ করিয়া গাড়ীটিকে সেইস্থানে স্থির রাখা হয় এবং তখন গাড়ীর তলায় দাঁড়াইয়া কাজ করা যায়। গাড়ী নামাইতে হইলে K কল খুলিয়া তেল পুনরায় T ট্যাঙ্কে ফিরাইয়া আনা হয়।

ইহা ছাড়াও অনেক গাড়ীতে ব্যবহৃত **হাইড্রলিক** ব্রেক প্যাসেকেলের বলবৃদ্ধিকরণ নীতিতে কাজ করে।

উদাহরণ :

(1) একটি জলপূর্ণ বোতলের মুখে একটি ছিপি আঁটা আছে। বোতলটির গণ্ডদেশ পর্যন্ত উচ্চতা 50 সে.মি., ইহার তলদেশের ক্ষেত্রফল 30 সে.মি.^{2} এবং ছিপিটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল 1 সে.মি.^{2}। ছিপিটিকে যদি 40 গ্র্যাম-ভার বলপ্রয়োগ করিয়া বোতলের মুখে আঁটা হয় তবে পাত্রটির তলদেশে জলের মোট চাপ (ঘাত) কত হইবে?

উত্তর ঃ বোতলটির তলদেশে মোট চাপ হইবে বোতলটির জলস্তম্ভের চাপ+ছিপিটির জন্য চাপ। বায়ুর চাপ সর্বদিকে সমান হওয়ায় বোতলটির তলায় ইহার জন্য কোন কার্যকরী চাপ থাকিবে না।

এখন প্যাসকেলের সূত্রানুসারে, জলে প্রযুক্ত ছিপির চাপ জলের সর্বত্র সমানহারে সঞ্চালিত হইবে।

$\therefore$ ছিপির জন্য বোতলের তলদেশে মোট চাপ $=\frac{40}{1}\times 30$

$=1200$ গ্র্যাম-ভার

আবার, বোতলের জলের জন্য তলদেশে মোট চাপ $=30\times 50$

$=1500$ গ্র্যাম-ভার

$\therefore$ তলদেশে মোট চাপ (ঘাত) $=1200+1500=$ **2700 গ্র্যাম-ভার।**

(2) একটি হাইড্রলিক প্রেসের ছোট পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ 1 বর্গফুট ও বড় পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ 20 বর্গফুট। ইহাতে কতগুণ বলবৃদ্ধি হইবে? ছোট পিস্টনে 200 পাউণ্ড-ভার বলপ্রয়োগ করিলে বড় পিস্টনে বলের পরিমাণ কত হইবে?

উত্তর ঃ প্যাসকেলের সূত্রানুসারে, উভয় পিস্টনেই চাপ সমান হইবে। যদি বড় পিস্টনে চাপ F_2 এবং ছোট পিস্টনে চাপ F_1 হয়,

তবে চাপ, $\frac{F_2}{20}=\frac{F_1}{1}$;

$\therefore$ বলবৃদ্ধি $=\frac{F_2}{F_1}=\frac{20}{1}=$ **20 গুণ।**

$\therefore$ ছোট পিস্টনে 200 পাউণ্ড-ভার বলপ্রয়োগ করিলে বড় পিস্টনে মোট চাপ (ঘাত) $=200\times 20=$ **4000 পাউণ্ড-ভার।**

3.7. বায়ুর চাপ (Air Pressure) ঃ

ভূপৃষ্ঠের উপরে বায়ুমণ্ডলের অস্তিত্ব তোমাদের অজানা নয়। এই বায়ুমণ্ডল সমুদ্র-পৃষ্ঠ হইতে প্রায় 300 মাইল পর্যন্ত উর্ধ্বে বিস্তৃত। ভূপৃষ্ঠস্থ অন্যান্য বস্তুদের মতই বায়ুমণ্ডলও পৃথিবীর অভিকর্ষ-বলে আকৃষ্ট হইয়া পৃথিবীর গাত্রে লাগিয়া থাকে। ফলে অন্যান্য বস্তুর মত বায়ুরও ওজন থাকে এবং সেইজন্যই পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল সবসময় ভূপৃষ্ঠে চাপ দেয়। বায়ুর এই চাপ তরল পদার্থের মত, যে-কোন বিন্দুতে সবদিকে সমান। আবার বায়ুমণ্ডলকে অসংখ্য স্তরের এক বায়ু-সমষ্টি কল্পনা করা যাইতে পারে এবং সেইক্ষেত্রে প্রতি স্তরই উপরের স্তরগুলির চাপ বহন করে। ফলে ভূপৃষ্ঠের ঠিক উপরেই বায়ুর চাপ সবচেয়ে বেশি হয়।

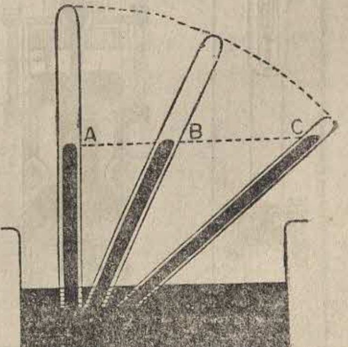
ইহাকেই বায়ুমণ্ডলের চাপ বলে। ভূপৃষ্ঠ হইতে যত উপরে উঠা যায় ততই বায়ুর ঘনত্ব ও উচ্চতা কমিয়া যায়—ফলে ততই বায়ুর চাপও কমিতে থাকে।

কোন স্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ অর্থে বোঝায় সেইস্থানে একক ক্ষেত্রফলের উপর বায়ুমণ্ডল যতটা চাপ দেয়। অর্থাৎ **সেইস্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ হইবে একক ভূমিবিশিষ্ট ও বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্বসীমা পর্যন্ত প্রসারিত বায়ুস্তম্ভের ওজনের সমান।** বিভিন্ন উচ্চতায় বায়ুমণ্ডলের চাপ বিভিন্ন; সমুদ্র-সমতলে বায়ুমণ্ডলের চাপ 76 সে.মি. উচ্চ পারদস্তম্ভকে ধরিয়া রাখিতে পারে। এই হিসাবে **সমুদ্রসমতলে 1 বর্গ সে.মি. স্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ** $(h\rho g) = 76 \times 13{\cdot}6 \times 981 = 1{\cdot}013 \times 10^6$ **ডাইন** বা **1013 মিলিবার** (1 মিলিবার $=10^3$ ডাইন)। মানুষের দেহে বায়ুমণ্ডলের মোট চাপ প্রায় 150 কুইন্টাল ভারেরও বেশি। এই বিরাট চাপ মানুষ সহ্য করিতে পারে কারণ মানুষের শরীরের ভিতরও বায়ু প্রবেশ করে এবং বায়ুর চাপ বাহিরের এই চাপকে প্রতিহত করে।

3.7a. বায়ুর চাপের পরিমাপ (Measurement of Air Pressure) :

যে যন্ত্রের দ্বারা পৃথিবীর কোনস্থানের বায়ুমণ্ডলের চাপ মাপা যায় তাহাকে **বায়ুচাপমান-যন্ত্র** বা **ব্যারোমিটার** (Barometer) বলে।

প্রসিদ্ধ বিজ্ঞানী টরিসেলী বায়ুমণ্ডলের চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করিবার জন্য একটি পরীক্ষা করেন। তিনি এক মিটার লম্বা একমুখ খোলা ও সর্বত্র সমান ব্যাসের একটি কাচের নলে পারদ ভর্তি করিয়া অপর একটি খোলা পারদ পাত্রের উপর উপুড় করিয়া দিয়া দেখিলেন যে, পারদ কিছুটা নীচে নামিয়া অবশেষে 76 সে. মি. বা 30 ইঞ্চি উচ্চতায় স্থির থাকে। নলটি ধীরে ধীরে হেলাইলে নলের পারদের উপরের শূন্যস্থান কমে, কিন্তু পারদ স্তম্ভের উচ্চতা একই থাকে (চিত্র 3.10)। ইহার নাম **টরিসেলীর ব্যারোমিটার**। কোন স্থানের বায়ু-চাপ খোলা পারদ পাত্রে চাপ দেয় এবং



চিত্র 3.10

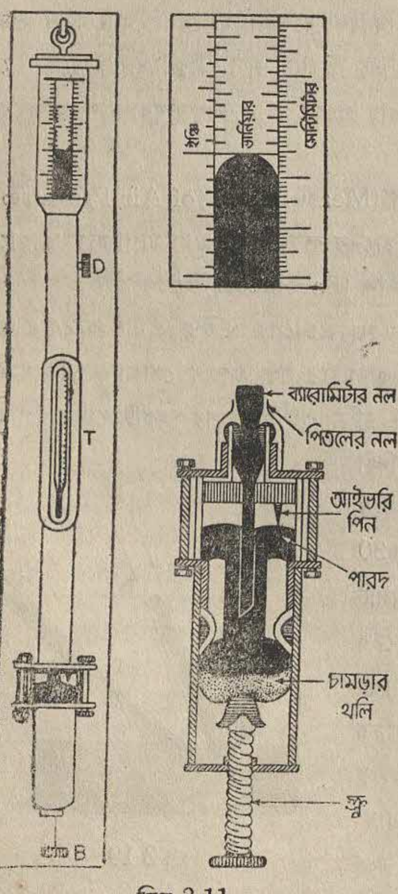
সেই চাপই 76 সে. মি. পারদ স্তম্ভকে তুলিয়া রাখে। ফলে কোন স্থানের বায়ুর চাপ অধিক হইলে পারদস্তম্ভ আরও উঠিবে এবং কম হইলে পারদস্তম্ভ

নামিবে। কাজেই, কোন স্থানের পারদস্তম্ভের উচ্চতা দেখিয়া সেই স্থানের বায়ুর চাপ মাপা যায়। ইহাই হইল **সরল পারদ ব্যারোমিটার**।

সরল ব্যারোমিটার বিভিন্ন জায়গায় লইয়া যাওয়া অসুবিধাজনক—তাছাড়া কাচের নলটি ভাঙ্গিয়া যাওয়ার সম্ভাবনাও বেশি। সেইজন্য ইহার নিয়মেই কয়েকটি উন্নতধরনের ব্যারোমিটার তৈয়ারী হইয়াছে। এইরূপ একটি ব্যারোমিটারের নাম **ফর্টিনের ব্যারোমিটার** (Fortin's Barometer)। ইহার গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা করা হইল।

3.7b ফর্টিনের ব্যারোমিটার (Fortin's Barometer) :

একটি এক বর্গ সে. মি. ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট প্রায় 1 মিটার লম্বা পুরু একমুখী কাচের নলে বিশুদ্ধ ও শুষ্ক পারদ ভর্তি করা হয়। ইহার পর নলটিকে পারদপূর্ণ একটি চামড়ার থলিতে উল্টাইয়া দেওয়া হয়। থলিটির উপরে একটি শ্যাময় চামড়া (chamois leather) ঢাকা থাকে। এই অবস্থায় কাচ নলটিকে একটি পিতলের চোঙের মধ্যে রাখা হয় যাহাতে কাচ নলটি না ভাঙ্গে। পিতলের চোঙের উপর দিকে কিছুটা অংশ কাটা থাকে। ইহার মধ্যদিয়া কাচনল ও তাহার ভেতরের পারদের উপরিভাগ দেখা যায় (চিত্র 3.11)। এই কাটা অংশের দুইপাশের একদিকে ইঞ্চি ও অন্যদিকে সেন্টিমিটার স্কেল আঁকা থাকে এবং ইহার ভিতর একটি ভার্নিয়ার স্কেল একটি স্ক্রু (D)-এর সাহায্যে উঠানামা করে। সর্বনিম্নে রাখা



চিত্র 3.11

একটি স্ক্রু (B) ঘুরাইয়া চামড়ার থলির পারদতলকে একটি আইভরী (হাতীর

দাঁতের তৈয়ারী) পিনের নিম্নবিন্দুর সহিত স্পর্শ করানো হয়। এই অবস্থায় থলির পারদতল স্কেলের শূন্যদাগের সহিত একরেখায় আসে। যন্ত্রটির গায়ে একটি থার্মোমিটার লাগানো থাকে, ইহার সাহায্যে সেই স্থানের উষ্ণতা জানা যায়। সমগ্র যন্ত্রটি একটি কাচের পাল্লাযুক্ত কাঠের ফ্রেমে লাগাইয়া দেওয়ালে ঝুলানো থাকে।

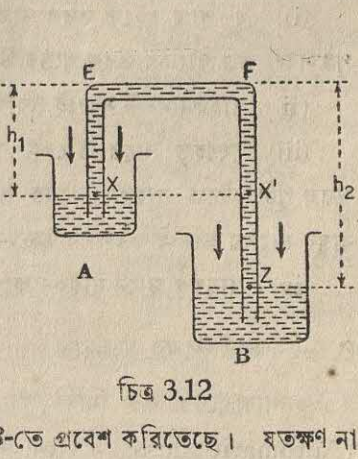
ব্যবহারের সময়, প্রথমেই B স্ক্রুটি ঘুরাইয়া থলির পারদতল আইভরী পিনের সংস্পর্শে আনা হয়। থলির উপরের স্যাময় চামড়ার মধ্যদিয়া বায়ুর চাপ থলির পারদে সঞ্চালিত হয় এবং এই চাপ নলের পারদস্তম্ভকে তুলিয়া রাখে, এখন D স্ক্রুটি ঘুরাইয়া ভার্নিয়ারকে পারদস্তম্ভের উপরের উত্তলতলের সহিত এক লাইনে আনা হয়। এই অবস্থায় স্কেল ও ভার্নিয়ারের সাহায্যে ইঞ্চি বা সেন্টিমিটারে পারদস্তম্ভের সঠিক উচ্চতার মাপ লওয়া হয়। পারদস্তম্ভের এই দৈর্ঘ্যের ওজনই ঐ স্থানের বায়ুর চাপের মান অর্থাৎ পারদের এই দৈর্ঘ্যকে পারদের ঘনত্ব ও সেই স্থানের g দিয়া গুণ করিলে ($\therefore P=h\rho g$) গুণফল সেই স্থানের বায়ুর চাপ নির্দেশ করে।

ব্যারোমিটারের থার্মোমিটার হইতে সেই স্থানের উষ্ণতা জানিয়া পারদের ঘনত্বের উষ্ণতা সংশোধন করা হয়। সাধারণ উষ্ণতায় ও সমুদ্রসমতলে পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য 76 সে. মি. বা 30 ইঞ্চি এবং পারদের ঘনত্ব প্রায় 13.6 গ্র্যাম/সি. সি. হয়।

3.8 সাইফন (Siphon) :

সাইফন হইল এমন একটি ব্যবস্থা যাহার সাহায্যে কোন তরল পদার্থকে এক পাত্র হইতে অন্য পাত্রে না ঢালিয়া স্থানান্তরিত করা যায়। ইহার কার্যপ্রণালী নিম্নরূপ :

A ও B দুইটি আংশিক জলপূর্ণ বীকার (চিত্র 3.11)। A, B-এর উপরে এবং A হইতে B-তে জল স্থানান্তরিত করিতে হইবে। সহজে বাঁকানো যায় এমন একটি নল (XZ) জলপূর্ণ করিয়া ইহার দুই প্রান্ত আঙ্গুল চাপিয়া A ও B-এর জলের ভিতর প্রবেশ করানো হইল। এখন আঙ্গুল সরাইয়া লইলে দেখা যাইবে যে, জল A বীকার হইতে B-তে প্রবেশ করিতেছে। যতক্ষণ না



চিত্র 3.12

দুই বিকারের জলতল সমান বা A বীকারের জল শেষ হয় ততক্ষণ এই জলপ্রবাহ চলিতে থাকিবে। নলের প্রান্তদ্বয় সব সময় যেন জলের ভিতর থাকে।

সাইফনের কার্য-প্রণালী ব্যাখ্যা করিতে হইলে ইহার নলের বিভিন্ন জায়গায় তরলের চাপের কোন তারতম্য আছে কিনা দেখিতে হইবে। দুই বীকারের জলের উপর বায়ু চাপ দেয়। ধরা যাক্ বায়ুর চাপ P। এখন একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থিত নলের মধ্যে দুইটি বিন্দু E ও F লওয়া হইল। E বিন্দুতে জলের চাপ $=P-h_1\rho g$।

এবং F বিন্দুতে জলের চাপ $=P-h_2\rho g$.

এখানে h_1 ও h_2 বীকার দুইটির জলতল হইতে বিন্দুদ্বয়ের দূরত্ব এবং ρ হইল জলের ঘনত্ব,

যেহেতু, $h_1<h_2$, $(P-h_2\rho g)<(P-h_1\rho g)$ অর্থাৎ E বিন্দুতে জলের চাপ F বিন্দুতে জলের চাপ অপেক্ষা বেশি। অতএব জল E বিন্দুতে সর্বদা F বিন্দুর দিকে প্রবাহিত হইবে। E ও F-এ জলের চাপ সমান হইলে এই প্রবাহ বন্ধ হইয়া যাইবে। লক্ষ্য করিবার বিষয়, যেহেতু নলের X ও X' এই দুই বিন্দুতে জলের চাপ সমান, সেহেতু জলপ্রবাহ সৃষ্টিকারী চাপের প্রকৃত উৎস হইল ZX' জল স্তম্ভের ওজন।

জলের পরিবর্তে অন্য যে-কোন তরলের ক্ষেত্রেও সাইফনের কার্যনীতি এক। সাইফনের ক্রিয়া সংঘটিত করিতে হইলে সবসময় কয়েকটি সর্ত পূরণ হওয়া প্রয়োজন :

(i) যে পাত্র হইতে তরল স্থানান্তরিত করিতে হইবে সেই পাত্রের তরল পৃষ্ঠ সর্বদা অন্য পাত্রের তরল পৃষ্ঠের উপরে থাকিবে ;

(ii) সাইফন নলটি সর্বদাই পরীক্ষাধীন তরল দ্বারা পূর্ণ থাকিবে ;

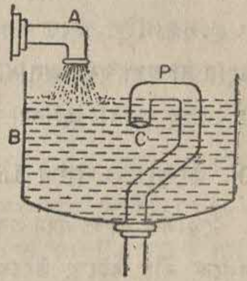
(iii) যেহেতু বায়ুর চাপেই তরল উপরে উঠে সেহেতু উপরের পাত্রের তরল পৃষ্ঠ হইতে সাইফন নলের সর্বোচ্চ বিন্দুর উচ্চতা (এক্ষেত্রে h_1) সবসময় বায়ুর চাপের জন্য ঐ তরল যে উচ্চতায় উঠে তাহা অপেক্ষা কম হইবে।

(iv) বায়ুশূন্য স্থানে সাইফন কাজ করিবে না।

3.8a. সাইফনের ব্যবহার :

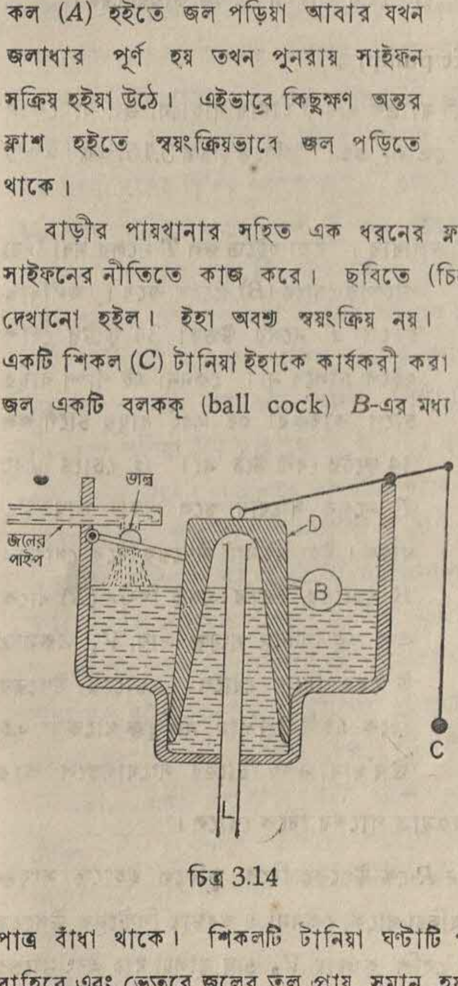
জনসাধারণের জন্য নির্দিষ্ট পায়খানা ও প্রস্রাবাগারে স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ (Automatic flush) লাগানো থাকে। ইহা সাইফনের নীতিতে কাজ

করে। ছবিতে এইরূপ একটি স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ দেখানো হইল (চিত্র 3.13)। ইহাতে একটি কল (*A*) হইতে জল সবসময় জলাধার (*B*)-তে পড়িতে থাকে। জলতল *P*-তে পৌছাইলে সাইফনটি জলপূর্ণ হয় এবং জল সবেগে সাইফনের দীর্ঘবাহুর ভিতর দিয়া বাহির হইয়া যায়। জলাধারের জলতল যতক্ষণ না সাইফনের ছোটবাহুর *C* প্রান্তের নীচে নামে ততক্ষণ ইহাতে জলপ্রবাহ চলে। জল *C*-এর নীচে নামিয়া গেলে প্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়। কল (*A*) হইতে জল পড়িয়া আবার যখন জলাধার পূর্ণ হয় তখন পুনরায় সাইফন সক্রিয় হইয়া উঠে। এইভাবে কিছুক্ষণ অন্তর ফ্লাশ হইতে স্বয়ংক্রিয়ভাবে জল পড়িতে থাকে।



চিত্র 3.13

বাড়ীর পায়খানার সহিত এক ধরনের ফ্লাশ লাগানো থাকে, ইহাও সাইফনের নীতিতে কাজ করে। ছবিতে (চিত্র 3.14) এরূপ একটি ফ্লাশ দেখানো হইল। ইহা অবশ্য স্বয়ংক্রিয় নয়। একমাত্র প্রয়োজনের সময়ই একটি শিকল (*C*) টানিয়া ইহাকে কার্যকরী করা হয়। জলের পাইপ হইতে জল একটি বলকক্ (ball cock) *B*-এর মধ্য দিয়া জলাধারে আসে। বল-ককের বলটি (*B*) জলাধারে ভাসিয়া থাকে এবং প্রয়োজনমত জলে জলাধার পূর্ণ হইলে ইহা ভাসিয়া উঠিয়া জলের আসার পথ বন্ধ করিয়া দেয়। যে দণ্ডটির এক-প্রান্তে শিকলটি বাঁধা থাকে তাহারই অন্য প্রান্তে একটি ঘণ্টার (bell) মত শঙ্কু আকৃতির পাত্র বাঁধা থাকে। শিকলটি টানিয়া ঘণ্টাটি পুরোপুরি তুলিলে এই ঘণ্টার বাহিরে এবং ভেতরে জলের তল প্রায় সমান হয়। কিন্তু শিকলটি ছাড়িয়া ঘণ্টাটি নামাইয়া দিলে ইহার ভিতরের জল ইহার তলার সরু ফাঁক দিয়া



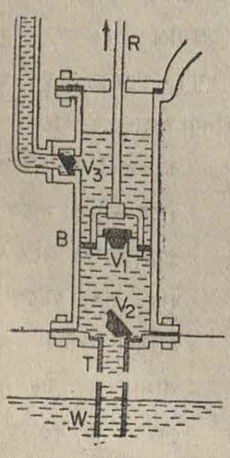
চিত্র 3.14

জলাধারে চলিয়া যাইবার সুযোগ পাইবার পূর্বেই শঙ্কু আকৃতির স্তম্ভাকারে আরও উঁচু হইয়া উঠে। এইভাবে উঁচু হওয়ায় ইহার জলতল একটি ধাতব পাইপের খোলা মুখে স্পর্শ করে এবং সঙ্গে সঙ্গে সাইফনের ক্রিয়া শুরু হইয়া যায়। জলাধারের সমস্ত জল বাহির না হওয়া পর্যন্ত ফ্লাশ হইতে জল সবেগে বাহির হইতে থাকে। ফলে জলাধারের বলককের বল নামিয়া যায় এবং জলের পাইপ হইতে জল পুনরায় জলাধার পূর্ণ করিতে থাকে। পুনরায় ব্যবহার না করা পর্যন্ত জলাধারে পূর্বনির্দিষ্ট উচ্চতা পর্যন্ত জলপূর্ণ হইয়া থাকে এবং বলকক্ পুনরায় ভাসিয়া উঠিয়া জলের আগমন পথ বন্ধ করিয়া দেয়।

3.9 উত্তোলক পাম্প (Lift pump) :

উত্তোলক পাম্প এমন একটি যান্ত্রিক ব্যবস্থা যাহার সাহায্যে জল বা কোন তরলকে নীচ হইতে উপরে তোলা হয়। ছবিতে (চিত্র 3.15) এরূপ একটি পাম্প দেখানো হইল।

ছবিতে W হইল একটি জলাধার। ইহা হইতে জল T নলের মধ্য দিয়া পাম্পের চোঙে (B) প্রবেশ করে। জলাধার হইতে T নলের উচ্চতা 34 ফুটের বেশি হইলে চলিবে না। কেননা এই পাম্প বায়ুর চাপে কার্যকরী হয় এবং বায়ুর চাপে জল 34 ফুটের বেশী উঠে না। B চোঙে এবং T নলের সংযোগ স্থলে একটি ভাল্ব V_2 থাকে। ইহা একমাত্র উপরের দিকে খোলে। B চোঙের ভিতর একটি পিস্টন (R) থাকে এবং এই পিস্টনে সংযুক্ত ভাল্ব, V_1 একমাত্র উপরের দিকে খোলে। চোঙের উপরের দিকে একটি উর্ধ্বগামী নল যুক্ত থাকে। এই উর্ধ্বগামী নলও চোঙের সংযোগস্থলে আর একটি ভাল্ব V_3 থাকে; ইহা একমাত্র পাশের দিকে খোলে।



চিত্র 3.15

কার্য-প্রণালী : পিস্টন R-কে উপরের দিকে তুলিলে ইহাতে সংযুক্ত ভাল্ব V_1 ইহার মুখে চাপিয়া বসিয়া থাকে, কেননা এ অবস্থায় পিস্টনের উপরের অংশের চোঙে বায়ুর চাপ বেশি হওয়ায় V_3 ভাল্ব খুলিয়া যায় এবং নীচের অংশের চোঙে বায়ুর চাপ কম হয়। ফলে ভাল্ব V_2 খুলিয়া যায় এবং T নল

হইতে বাতাস পিস্টনের নীচের চোঙে প্রবেশ করে। পরে পিস্টনকে নীচের দিকে নামাইলে V_1 ভাল্ব খুলিয়া যায় এবং ইহার তলার বাতাস উপরে উঠিয়া যায়। V_2 ও V_3 ভাল্ব সেই সময় বন্ধ হইয়া যায়।

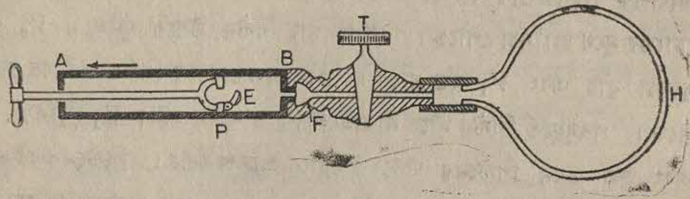
এইভাবে পিস্টনকে কয়েকবার উঠানামা করিলে, পিস্টনের নীচের অংশে আংশিক বায়ুশূন্যতার সৃষ্টি হয় এবং অবশেষে জলাধারের জল T নল বাহিয়া চোঙের মুখে আসিয়া পৌঁছে। এই অবস্থায় পিস্টন উপরে তুলিলে V_2 ভাল্ব খুলিয়া যায় এবং V_1 বন্ধ থাকে। ফলে জল চোঙের পিস্টনের নীচে ঢুকিয়া পড়ে। পরমুহূর্তে পিস্টন নীচে নামাইলে V_2 ভাল্ব বন্ধ হইয়া V_1 খুলিয়া যায় এবং জল তখন পিস্টনের উপরের চোঙে প্রবেশ করে। পিস্টনের এইভাবে কয়েকবার উঠানামার পর জল ঊর্ধ্বগামী নলের মুখে আসিয়া পৌঁছে এবং পরের বার পিস্টন উপরে উঠিলে জলের বর্ধিতচাপে V_3 ভাল্ব খুলিয়া জল ঊর্ধ্বগামী নলের ভিতর প্রবেশ করে। সেই সময় V_1 ভাল্ব বন্ধ থাকে এবং V_2 ভাল্ব খুলিয়া আরো জল T নল হইতে পিস্টনের তলায় চোঙে ঢুকিয়া পড়ে। পিস্টনের পরবর্তী নিম্নচাপে V_2 ভাল্ব বন্ধ হইয়া V_1 ভাল্ব খুলিয়া যায় এবং আরও জল পিস্টনের উপরের অংশের চোঙে ঢোকে। সেই সময় V_3 ভাল্ব ঊর্ধ্বগামী নলের মধ্যস্থিত জলের চাপে ও পিস্টনের উপরের অংশের নিম্নচাপে দৃঢ়ভাবে বন্ধ হইয়া যায়। পিস্টনের পরবর্তী ঊর্ধ্বগতিতে আবার V_2 ভাল্ব খুলিয়া V_1 ভাল্ব বন্ধ হয় এবং V_3 খুলিয়া গিয়া আরও জল ঊর্ধ্বগামী নলে প্রবেশ করে। এইভাবে জল ধীরে ধীরে ঊর্ধ্বগামী নল বাহিয়া উপরের জলাধারে জমা হইতে থাকে—অধিক পরিমাণ জল তুলিতে হইলে পিস্টনটিকে বৈদ্যুতিক শক্তির সাহায্যে উঠানো-নামানো করানো হয়।

3·10 বায়ু সংনমন পাম্প (Compression pump) :

এই পাম্পের সাহায্যে কোন বন্ধ স্থানে বায়ু প্রবেশ করানো হয়। এই পাম্পের সাহায্যেই ফুটবলের ব্লাডার, সাইকেল বা মোটরগাড়ীর চাকার টিউবে বায়ু প্রবেশ করানো হয়। ছবিতে (চিত্র 3.16) এইরূপ একটি পাম্প দেখানো হইল।

ইহাতে একটি লম্বা চোঙ (AB) থাকে। ইহার ভিতর একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিস্টন (P) উপর-নীচ উঠানামা করিতে পারে। এই পিস্টনের মুখে একটি ভাল্ব E এবং চোঙের তলায় আর একটি ভাল্ব F থাকে। ইহারা উভয়েই যে পাত্রে (H) বায়ু ঢোকানো হইবে তাহার দিকে খোলে এবং বিপরীত দিকে বায়ুর চাপে বন্ধ হইয়া যায়। পাত্র (H)-কে একটি স্টপ ককের (T) মাধ্যমে রবারের নল দিয়া চোঙের মুখে বায়ুনিরুদ্ধ অবস্থায় লাগানো হয়।

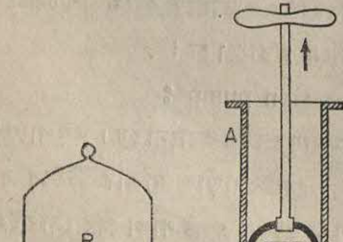
ধরা যাক, প্রথমে পিস্টনটি চোঙের শেষপ্রান্তে আছে। এখন পিস্টনটি হাতল ধরিয়া উপরে তুলিলে E ও F-এর মধ্যে বায়ুর চাপ কমিয়া যায়। ফলে H পাত্রের বায়ুর চাপে F ভাল্ব বন্ধ হইয়া যায় এবং বাহিরের বায়ুর চাপে E ভাল্ব খুলিয়া যায়। বাহিরের বায়ু E ও F-এর মাঝে ঢুকিয়া পড়ে।



চিত্র 3.16

পিস্টনটি এখন ভিতরের দিকে চাপিলে E ও F-এর মধ্যকার বায়ুর চাপে E ভাল্ব বন্ধ হইয়া যায় এবং F ভাল্ব খুলিয়া বায়ু সবেগে H পাত্রে প্রবেশ করে। এইভাবে পিস্টনটি প্রত্যেকবার উপরে তুলিলে বাহিরের বাতাস E ভাল্বের মধ্যদিয়া ভিতরে ঢুকিয়া পড়ে এবং নীচে নামাইলে সেই বাতাস F ভাল্বের মধ্যদিয়া পাত্রে প্রবেশ করে। পিস্টনটি কয়েকবার উঠানামা করিলে পাত্রটি উচ্চ-চাপের বায়ুতে পূর্ণ হইয়া উঠে।

3.11 শোষক বা বায়ু নিষ্কাশক পাম্প (Air Exhaust or Vacuum Pump):



চিত্র 3.17

এই পাম্পের সাহায্যে কোন বদ্ধ স্থানকে বায়ুহীন করা হয়। ছবিতে (চিত্র 3.17) এরূপ একটি পাম্প দেখানো হইল।

AB একটি মোটা লোহার চোঙ ইহার ভিতর একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিস্টন (P) উপর নীচে যাতায়াত করে। পিস্টনের মুখে একটি ভাল্ব V_1 এবং চোঙের মুখে অন্য একটি ভাল্ব V_2 আছে। ইহারা উভয়েই উপরের দিকে খোলে। একটি শক্ত নল $C\ D$, চোঙের মুখ ও একটি শক্ত ধাতব চাকতি (EF)-এর মধ্যে সংযোগ সাধন করে।

এই চাকতির মাঝের ছিদ্র দিয়া ইহার উপরে বায়ু নিরুদ্ধ অবস্থায় রাখা কাচের পাত্রে (R) সংযোগ সাধিত হয়।

এখন ধরা যাক, পিস্টনটি সর্বনিম্ন অবস্থায় আছে, এখন পিস্টনটি হাতলের সাহায্যে উপরে তুলিলে পিস্টনের ভাল্ব V_1 বাইরের বাতাসের চাপে ইহার মুখে চাপিয়া বসে এবং ইহার উপরের বাতাস বাহির হইয়া যায়। এখন পিস্টন ও V_2 ভাল্বের মধ্যকার স্থানের বাতাস আয়তনে বাড়িয়া যাওয়ায় ইহার চাপ কমিয়া যায়। ফলে R পাত্রের বাতাস DC নলের মধ্য দিয়া সবেগে V_2 ভাল্বকে খুলিয়া পিস্টনের তলায় চোঙে প্রবেশ করে। এখন পিস্টনটি নীচে নামাইলে তলার বাতাসের চাপবৃদ্ধি পায়। এই বাতাসের চাপে V_2 ভাল্ব বন্ধ হইয়া যায় এবং V_1 খুলিয়া যায়। V_1 ভাল্বের মধ্য দিয়া তলার বাতাস পিস্টনের উপরের অংশে উঠিয়া আসে। পিস্টনকে পুনরায় উপরে তুলিলে ইহার ভাল্ব V_1 বন্ধ হইয়া ইহার উপরের বাতাসকে বাহির করিয়া দেয় এবং ইহার নীচে পুনরায় নিম্নচাপের সৃষ্টি হওয়ায় R পাত্র হইতে বায়ু আসিয়া পুনরায় চোঙে প্রবেশ করে। এইভাবে পিস্টনটিকে ক্রমাগত উঠানো-নামানোর ফলে R পাত্র ক্রমশ বায়ুশূন্য হইতে থাকে। অবশ্য R-কে সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য করা যায় না—কারণ ভাল্বগুলিকে খুলিবার জন্য কিছু ন্যূনতম বলের প্রয়োজন। R পাত্রের বায়ুর চাপ কমিয়া অবশেষে যখন তাহা V_2 ভাল্বকে আর উপরে তুলিতে না পারে তখন এই পাম্প আর কার্যকরী থাকে না। পাম্পের V_2 ভাল্বকে সেইজন্য খুব হাল্কা করা হয়।

পাত্রের বায়ুর চাপ ও ঘনত্ব নির্ণয় :

ধরা যাক, সংযোগকারী নল CD সমেত R পাত্রের আয়তন $=V$, চোঙের পিস্টনের সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন অবস্থানের মধ্যকার আয়তন $=v$, R পাত্রের বায়ুর প্রাথমিক চাপ $=P_0$, এবং প্রাথমিক ঘনত্ব $=D_0$।

এখন পিস্টনটি সর্বনিম্ন অবস্থা হইতে একবার উপরে উঠিলে R পাত্রের বায়ুর আয়তন $=V+v$। যদি তখন ইহার বায়ুর চাপ P_0 হইতে কমিয়া P_1 হয় তবে বয়েলের সূত্রানুযায়ী,

$$P_1(V+v)=P_0V$$

$$\therefore\ P_1=\left(\frac{V}{V+v}\right)P_0$$

পিস্টনটি একবার উঠিবার পর আবার নামিলে R পাত্রে বায়ুর চাপ অপরিবর্তিতই (P_1) থাকিবে। কিন্তু ইহার আয়তন V হইবে। এখন পিস্টনটি

দ্বিতীয়বার উপরে তুলিলে পাত্রের চাপ আরও কমিবে। ধরা যাক্, এই অবস্থায় চাপ P_1 হইতে কমিয়া P_2 হইল এবং আয়তন পুনরায় $V+v$ হইল।

∴ পুনরায় বয়েলের সূত্রানুযায়ী, $P_2(V+v)=P_1V$

$$\text{বা, } P_2=\left(\frac{V}{V+v}\right)P_1=\left(\frac{V}{V+v}\right)^2P_0$$

(P_1-এর মান বসাইয়া)

$$\text{অনুরূপ ভাবে, } P_3=\left(\frac{V}{V+v}\right)^3P_0,$$

$$P_4=\left(\frac{V}{V+v}\right)^4P_0\cdots\text{ইত্যাদি।}$$

এইভাবে, পিস্টনটি যদি n বার উঠানামা করে, তবে পাত্রের ভিতর বায়ুর চাপ, Pn হইবে।

$$\therefore\ Pn=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n P_0$$

পিস্টনটি n বার উঠানামা করিলে, ধরা যাক, পাত্রের বায়ুর ঘনত্ব D_0 হইতে কমিয়া Dn হয়। এখন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের বায়ুর চাপ ও ঘনত্ব সমানুপাতিক হয়। ফলে,

$$\frac{Dn}{D_0}=\frac{Pn}{P_0}=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n$$

$$\text{বা, } Dn=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n D_0\text{।}$$

এই সমীকরণ হইতে বোঝা যায় যে, পিস্টনটি যতবার উঠা-নামা করিবে, পাত্রের বায়ুর ঘনত্বের মান তত কমিবে; কিন্তু কখনও শূন্য হইবে না। ফলে পাত্রটি কখনো সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য হইবে না।

উদাহরণ (Examples) :

(1) বায়ুমণ্ডলের চাপ 76 সে.মি. পারদের সমান হইলে কতখানি উচ্চ গ্লিসারিণ স্তম্ভে ঐ পরিমাণ চাপ পাওয়া যাইবে? (গ্লিসারিণের ঘনত্ব=1·29 গ্র্যাম/সি.সি.)।

উত্তর : ধরা যাক, h সে.মি. উচ্চতাবিশিষ্ট গ্লিসারিণ স্তম্ভে 76 সে.মি. পারদস্তম্ভের সমান চাপ পাওয়া যাইবে।

$$\therefore\ h\times1{\cdot}29\times9{\cdot}81=76\times13{\cdot}6\times981$$

$$\therefore\ h=\frac{76\times13.6\times981}{1{\cdot}29\times981}=8{\cdot}012\ \text{মিটার (প্রায়)}$$

(2) মোমের আপেক্ষিক গুরুত্ব 0·78। সাধারণ বায়ুচাপে কত উচ্চতা পর্যন্ত ইহাকে সাইফন ক্রিয়ায় বাহির করা যাইবে ?

উত্তর : সাধারণ বায়ুচাপ (P) অর্থে বোঝায় 76 সে.মি. পারদস্তম্ভের ওজন। সাইফনের নিয়মানুসারে, এই চাপ পরীক্ষাধীন তরলস্তম্ভের ওজন অপেক্ষা বেশী হইবে। ধরা যাক, মোমের নির্ণেয় উচ্চতা$=h_1$ সে.মি.

$\therefore \quad P > h_1 \rho g$ [ρ=মোমের ঘনত্ব=0·78 গ্রাম/সি.সি.]

বা, $P - h_1\rho g > 0$, h_1-এর সর্বাধিক মান হইলে $P \simeq h_1 \rho g$.

$\therefore \quad 76 \times 13.6 \times 981 \simeq h_1 \times 0.78 \times 981$

বা, $h_1 \simeq$ **1·32** মিটার (প্রায়)।

(3) একটি উত্তোলক পাম্পের সাহায্য কত গভীর তৈলকূপ হইতে তেল উপরে তোলা সম্ভব হইবে ? [বায়ুর চাপ=76 সে. মি. পারদের ওজন এবং তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব=0·8]

উত্তর : ধরা যাক, তৈলকূপের নির্ণেয় গভীরতা$=h$ সে. মি.

বায়ুর চাপ (P)$=76 \times 13·6 \times 981$।

উত্তোলক পাম্প বায়ুর চাপে কার্যকরী হয় বলিয়া তৈলকূপের সর্বাধিক গভীরতায়, $76 \times 13·6 \times 981 = h \times 0·8 \times 981$ হইবে।

অর্থাৎ $h = \dfrac{76 \times 13·6}{0·8} = 1292$ সে.মি.$\simeq$ **12·9 মিটার**।

(4) কোন বায়ু নিষ্কাশন পাম্পের পিস্টন 4 বার উঠানামার পর ইহার আধারের বায়ুর ঘনত্ব ও আদি ঘনত্বের অনুপাত 256 : 625 হয়। পিস্টন ও আধারের আয়তনের অনুপাত নির্ণয় কর।

উত্তর : পিস্টনের আয়তন v ও আধারের আয়তন V ধরিলে আমরা জানি, পিস্টনটি n বার উঠানামা করিলে বায়ুর ঘনত্ব, $Dn = \left(\dfrac{V}{V+v}\right)^n \cdot D_0$, Do=বায়ুর আদি ঘনত্ব।

$$\text{বা,} \quad \frac{Dn}{Do} = \left(\frac{V}{V+v}\right)^n$$

$$\text{বা,} \quad \frac{256}{625} = \left(\frac{V}{V+v}\right)^4$$

$$\text{বা,} \quad \left(\frac{4}{5}\right)^4 = \left(\frac{V}{V+v}\right)^4$$

$$\text{বা,} \quad \frac{V}{V+v} = \tfrac{4}{5}. \quad \text{বা,} \quad V = 4v$$

$$\therefore \quad \mathbf{v : V = 1 : 4}$$

প্রশ্নাবলী

1. আপেক্ষিক গুরুত্ব কাহাকে বলে? আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনত্বের তুলনা কর। আপেক্ষিক গুরুত্বকে আপেক্ষিক ঘনত্ব বলার কারণ কি?

[Define specific gravity. Compare specific gravity and density. Why is specific gravity called relative density ?]

2. আর্কিমিদিসের সূত্র বল এবং পরীক্ষার সাহায্যে ইহা প্রমাণ কর। রাজা হিরোর মুকুটের ওজন ছিল 20 পাউণ্ড। আর্কিমিদিস্ দেখিলেন ইহাকে জলে ডুবাইলে ইহার ওজন 1·25 পাউণ্ড কমিয়া যায়। প্রকৃতপক্ষে মুকুটটিতে সোনার সহিত রূপার খাদ ছিল। কোন্ ধাতু কতটা ছিল? [সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব=19·3 এবং রূপার আপেক্ষিক গুরুত্ব=10·5]

[State Archimedes principle and verify it experimentally.

The crown of King of Hiero weighed 20 lbs. Archimedes found that it lost 1·25 lbs. when immersed in water. The crown was made of gold and silver. Find the weight of these metals. (sp. gr. of gold=19·3 ; sp. gr. of silver=10·5)]

[Ans : Gold=15·078 lbs ; Silver=4·922 lbs.]

3. বস্তুর ভাসনের শর্তগুলি বল ও ব্যাখ্যা কর। বস্তুর ভাসনের দুইটি উদাহরণ দাও।

একটি জাহাজের জলের উপরের প্রস্থচ্ছেদ 5500 বর্গমিটার। মাল বোঝাই করিতে ইহা আরও 40 সে.মি. ডুবিয়া যায়। অতিরিক্ত ভারের পরিমাণ কত?

[State and explain the conditions of floatation of a body. Give two examples of floating bodies.

The sectional area of a ship above the water level is 5,500 sq. m. After loading, the ship sinks by 40 cms. Calculate the weight of the load.]

[Ans : 2165·3 tons (approx) assuming ρ water=1 gm./c.c.]

4. তরলের মধ্যে চাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ কর যে, কোন পাত্রের তলায় তরলের মোট চাপ পাত্রের কেবলমাত্র তলদেশের ক্ষেত্রফল ও তরলের উচ্চতার উপর নির্ভরশীল।

[Calculate the magnitude of pressure in a liquid. Prove experimentally that the total pressure of a liquid at the bottom of the vessel depends only on the area of the base and the height of the liquid column.]

5. তরলে চাপ সঞ্চালনের জন্য প্যাসকেলের নীতির উল্লেখ ও প্রমাণ কর। এই সূত্রের ব্যবহারিক প্রয়োগের একটি উদাহরণ দাও এবং ইহার কার্য নীতি বর্ণনা কর।

পরস্পরের সহিত সংযুক্ত দুইটি নলের সরুটির ব্যাস 2 সে. মি. এবং মোটাটির ব্যাস 10 সে.মি.। জলপূর্ণ অবস্থায় সরু নলটির পিস্টনে 50 কিলোগ্রাম ওজন চাপাইলে বড় নলটির মুখের পিস্টনে কত চাপ পড়িবে ?

[State and prove Pascal's law of transmission of fluid pressure. Give an example of practical application of Pascal's law and explain its working principle.

Two interconnected cylinders have diameters 2 cms. for the smaller one and 10 cm. for the larger one. If a force of 50 kgm. is applied on the smaller piston find out the total pressure exerted on the larger piston when they are filled with water.] [Ans : 1250 kg. wt.]

6. হাইড্রলিক প্রেসের নীতি ও কার্যপ্রণালী ছবি আঁকিয়া বর্ণনা কর।

একটি হাইড্রলিক প্রেসের পিস্টনদ্বয়ের ব্যাস যথাক্রমে 4 ইঞ্চি ও 40 ইঞ্চি। লিভারের ছোট দণ্ডটির দৈর্ঘ্য 8 ইঞ্চি এবং ইহা ছোট পিস্টনটিকে কার্যকরী করে। বড় দণ্ডটির দৈর্ঘ্য 4 ফুট এবং ইহার প্রান্তে 75 পাউণ্ডের বলপ্রয়োগ করা হইল। বড় পিস্টনে মোট চাপ কত হইবে ?

[Describe the principle and action of a Hydraulic press giving a sectional diagram.

The diameters of the pistons of a hydraulic press are 4 inches and 40 inches respectively. The shorter arm of the lever working the smaller piston is 8 inches and the longer arm is 4 ft. in length. Find the total force produced on the larger piston when a force of 75 lbs. is applied at the end of the longer arm of the lever.] [Ans: 45,000 lb. wt.]

7. বায়ুমণ্ডলের চাপের অস্তিত্বের একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। সমুদ্র সমতলে বায়ুর চাপের পরিমাণ কত? বায়ুর চাপ পরিমাপ করিবার একটি যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

ইহার যন্ত্রের সাহায্যে কিভাবে কোন পাহাড়ের উচ্চতা নির্ণয় করিবে?

[Describe an experiment to show the existence of atmospheric pressure. What is the atmospheric pressure at the sea level? Describe the construction and working principle of an instrument to measure the atmospheric pressure.

How such an instrument can be used to measure the height of a mountain?]

8. একটি সাইফনের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। ইহা কিভাবে কাজে লাগে? সাইফনকে কার্যকরী করিতে কি কি শর্ত পূরণ হওয়া দরকার? ইহার সাহায্যে কত গভীরতা হইতে জল তোলা সম্ভব?

[Describe a Siphon and explain the principle of its action. How it is used? What are the essential conditions for its working? Find the maximum depth of water at which siphoning is possible.]

9. মাটির তলার চৌবাচ্চা হইতে বাড়ীর ছাদের ট্যাঙ্কে জল তোলার জন্য প্রয়োজনীয় যান্ত্রিক ব্যবস্থার গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

মাটির কত তলা হইতে এই ব্যবস্থায় জল উপরে তোলা যায়?

[Describe and explain the working principle of the ins-

trument used for lifting water from an underground reservor to the overhead tank.

Find the maximum depth of water from which water can be lifted by this arrangement.]

10. একটি বায়ু সংনমন পাম্পের গঠন ও কার্যপ্রণালী ছবির সাহায্যে বর্ণনা কর। এইরূপ পাম্পের দুইটি ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখাও।

[Describe an air compression pump and explain its principle of action with a diagram. Give two examples of its practical applications.]

11. একটি বায়ু-নিষ্কাশন পাম্পের গঠন ও কার্যপ্রণালী ছবি আঁকিয়া বোঝাও। পিস্টনটি কয়েকবার উঠা-নামার পর আধারে বায়ুর চাপ ও ঘনত্ব কত হইবে নির্ণয় কর।

একটি বায়ু নিষ্কাশন পাম্পের চোঙের আয়তন ইহার আধারের আয়তনের $\frac{1}{5}$ অংশ। পিস্টনটি কতবার উঠানামা করিলে আধারে বায়ুর ঘনত্ব কমিয়া 125 : 216 অনুপাত সৃষ্টি করে ?

[Describe an air-exhaust pump and explain its principle of action with the help of a diagram. Determine the pressure and density of air inside the receiver after a number of strokes.

The volume of the cylinder of an air-exhaust pump is $\frac{1}{5}$ to that of the receiver. After how many strokes of the piston the density of air inside the receiver will be reduced to the ratio of 125 : 216 ?] [Ans. : 3]

12. বিজ্ঞানসম্মত ব্যাখ্যা দাও :

(i) লোহা জলে ডোবে কিন্তু পারদে ভাসে।

(ii) নদীর জল হইতে সমুদ্রের জলে জাহাজ বেশী ভাসিয়া ওঠে।

(iii) জাহাজে মাল বোঝাই করিলে ইহার নিমজ্জিত অংশ বাড়িয়া যায়।

(iv) নদীর জল অপেক্ষা সমুদ্রের জলে সাঁতার কাটা সহজ।

(v) লোহা জলে ডুবিলেও লোহার জাহাজ জলে ভাসে।

(vi) জাহাজ জলে ভাসে কিন্তু ডুবো-জাহাজ জলের তলায় ডুবিতে পারে।

(vii) ভাসমান বস্তুর ওজন নাই।
(viii) উচ্চতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বায়ুর চাপ কমে।
(ix) একটি তেলের টিনে দুইটি ফুটো না করিলে তেল বাহির হয় না।
(x) একটি জলপূর্ণ বালতির খোলা মুখ উল্টাইয়া অন্য একটি জলপূর্ণ পাত্রের জলতলে রাখিলে বালতি জলপূর্ণ থাকে কিন্তু একটু উপরে তুলিয়া দিলেই ইহার জল পড়িয়া যায়।
(xi) একটি 50 ফুট গভীর নলকূপ হইতে কিভাবে জল তোলা সম্ভব ?

[Give scientific reasons :]

(i) Iron sinks in water but floats on mercury.
(ii) A ship floats up more when it comes to the sea from the river.
(iii) A ship sinks more when further loaded.
(iv) It is easier to swim in sea that in river.
(v) Iron sinks in water but a ship made of iron floats on water.
(vi) A ship only floats on water but a submarine can also sink.
(vii) A floating body has no weight.
(viii) Pressure of air is decreased with the increase of height.
(ix) An oil tin needs two holes for the oil to come out.
(x) A water-full tumbler when inverted with its open end on the surface of water remains full of water but becomes empty when it is slightly raised up.
(xi) How water can be lifted from a well 50ft. deep]।

চতুর্থ অধ্যায়

পৃষ্ঠটান ও সান্দ্রতা

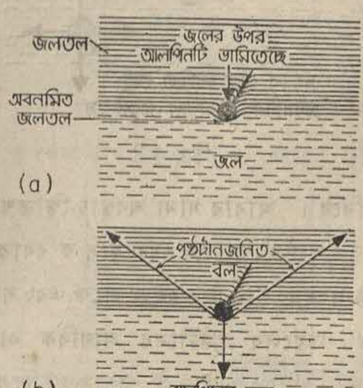
(Surface Tension and Viscosity)

4.1 পৃষ্ঠটান বলিতে কি বোঝায় (What is surface tension) :

তোমরা জান কোন পর্দাকে বলপ্রয়োগ করিয়া টানিয়া ধরিলে পর্দাটি টান টান হইয়া থাকে। এই অবস্থায় পর্দাটি সংকুচিত হইবার চেষ্টা করে। সেইজন্যই কোন রবারের পাতকে টানিয়া ধরিলে উহা ক্ষেত্রফলের সংকোচন করিবার চেষ্টা করে। কোন তরল পদার্থের মুক্তপৃষ্ঠও (free surface) অনুরূপে টানিয়া-রাখা রবারের পাতের ন্যায় ব্যবহার করে এবং সম্ভাব্য ক্ষুদ্রতম ক্ষেত্রফলে সংকুচিত হইবার চেষ্টা করে।

এক ফোঁটা জল বা পারদ সবসময়ই গোল আকার ধারণ করে। কোন নির্দিষ্ট আয়তনের বস্তুর গোলাকার অবস্থাতেই ক্ষেত্রফল সর্বাপেক্ষা কম হয়। যে-কোন তরল বিন্দু আপনা হইতেই এমন এক জ্যামিতিক আকার গ্রহণ করে যেখানে ক্ষেত্রফল সর্বাপেক্ষা কম হয়। তরল পৃষ্ঠের উপরিস্থিত এই টান (tension)-ই তরল বিন্দুকে এই বিশেষ জ্যামিতিক আকার গ্রহণে বাধ্য করে।

একটি পরিষ্কার হাল্কা আলপিন জলের উপর সাবধানে রাখিলে আলপিনটি জলে ডোবে না। ভালভাবে লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, আলপিনটি যেখানে জল স্পর্শ করিয়াছে জলের সেই স্থানটি স্থিতিস্থাপক চামড়ার ন্যায় একটু অবনমিত হইয়া আছে (চিত্র 4.1a)। পিনটির ভারে জলতলে প্রযুক্ত বল ও তরল পৃষ্ঠের টান উভয়ে মিলিয়া জলতলের এরূপ বিকৃতি সৃষ্টি করে এবং তরলের পৃষ্ঠটানজনিত বল ইহার ভারকে ধরিয়া রাখে (চিত্র 4.1b)। ইহা হইতে বোঝা যায় যে, তরলের মুক্তপৃষ্ঠ যেন কোন বলের প্রভাবে টান-টান অবস্থায় আছে। তরল পৃষ্ঠের



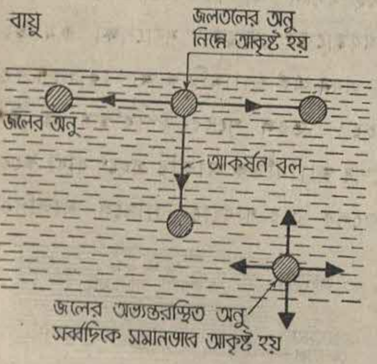
চিত্র 4.1

এই টানকেই **পৃষ্ঠটান** (Surface tension) বলে। পৃষ্ঠটানের জন্যই তরলের পৃষ্ঠের উপর কোন স্থায়ী রেখা অংকন করা যায় না।

4.1a. পৃষ্ঠটানের ব্যাখ্যা (Explanation of surface tension) :

তরলের এই পৃষ্ঠটানের এক সহজ ব্যাখ্যা করা যায়। সকল পদার্থই কতকগুলি অণুর সমন্বয়ে গঠিত এবং এই অণুগুলি সর্বদা পরস্পরকে আকর্ষণ করে। এই আকর্ষণকে বলা হয় সংসক্তি (cohesion)। ইহা মহাকর্ষ সূত্র মানে না (প্রথম অধ্যায়, অনুচ্ছেদ 1.2b)। কঠিন পদার্থে এই আকর্ষণ বল খুব প্রবল—সেজন্য কঠিন পদার্থ উহার আকার অপরিবর্তিত রাখে। তরলে এই বলের পরিমাণ কম এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে আরো কম। এই সংসক্তি বলই তরলের পৃষ্ঠটানের মূল কারণ।

এই সংসক্তি বলের জন্য তরলের অভ্যন্তরস্থিত কোন অণু একটি সীমার মধ্যে ইহার চতুঃপার্শ্বস্থ অণুগুলি কর্তৃক সমানভাবে আকৃষ্ট হইবে—ফলে ইহার উপর কোন লব্ধ সংসক্তি বল ক্রিয়া করিবে না (চিত্র 4.2)। পক্ষান্তরে, তরল পৃষ্ঠের অণুগুলির উপরের দিক হইতে ইহাদের আকর্ষণ করিবার জন্য কোন অণু থাকে না, ফলে ইহারা কেবলমাত্র পার্শ্বে এবং নিম্নে আকৃষ্ট হয়। নিম্নাভিমুখী লব্ধ বলের মানই সর্বাধিক এবং ইহা তরল পৃষ্ঠের অভিলম্বভাবে ক্রিয়া করিবে। আবার সাম্য অবস্থায় স্থিতিশক্তি সর্বনিম্ন করিবার জন্য অণুগুলি তরল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল সর্বদা হ্রাস করিবার চেষ্টা করে। এই কারণেই তরল পৃষ্ঠ সবসময় টান-টান হইয়া থাকে এবং সর্বনিম্ন ক্ষেত্রফল পাইবার চেষ্টা করে। ইহা তরলের পৃষ্ঠটানের আণবিক ব্যাখ্যা। তরলপৃষ্ঠে কোন সরলরেখা কল্পনা করিলে পৃষ্ঠটান ঐ রেখার দুইদিকে লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

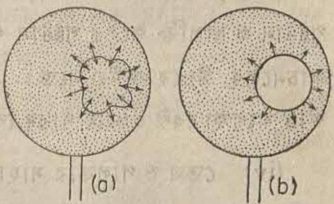


চিত্র 4.2

4.1b. পৃষ্ঠটান সম্পর্কিত আরো কয়েকটি ঘটনা (Some other phenomena concerning surface tension) :

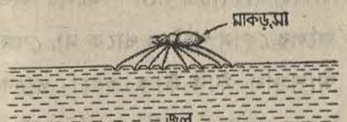
(i) তারের একটি গোল আংটা তৈয়ারী করিয়া সাবান-গোলা জলে ডোবাও। আংটাটি উপরে তুলিলে দেখিবে যে, সাবানের সর (Soapfilm)

আংটার গায়ে পর্দার মত আটকাইয়া আছে। এখন একটি ছোট সূতার ফাঁস (loop) সাবান জলে ভিজাইয়া সাবধানে আংটার সরের উপর রাখ, দেখিবে ফাঁসটি এলোমেলোভাবে সরের উপর অবস্থান করিবে (চিত্র 4.3a)। এখন একটি সূঁচের সাহায্যে ফাঁসের অভ্যন্তরের সরে ফুটো করিয়া দিলে দেখা যাইবে ফাঁসের অভ্যন্তরের সর অদৃশ্য হইয়া গেল এবং ফাঁসটি টান হইয়া সম্পূর্ণ গোল আকার ধারণ করিল (চিত্র 4.3b)। প্রথম অবস্থায় (চিত্র 4.3a) সরের পৃষ্ঠটানজনিত বল ফাঁসটির ভিতরে ও বাইরে সমানভাবে ক্রিয়া করে; ফলে ইহার উপর বলের কোন প্রভাব থাকে না এবং ফাঁসটি এলোমেলোভাবে সরের উপর পড়িয়া থাকে। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে (চিত্র 4.3b) ফাঁসের অভ্যন্তরস্থ সর অদৃশ্য হওয়ায় ইহার অন্তর্মুখী বল অপসারিত হয় এবং ফাঁসের বাইরের সর ফাঁসটির উপর কেবলমাত্র বহির্মুখী বল প্রয়োগ করিতে থাকে। ফলে ফাঁসটি টান-টান হইয়া গোল আকার ধারণ করে এবং ইহার ক্ষেত্রফল হ্রাস করিবার চেষ্টা করে।



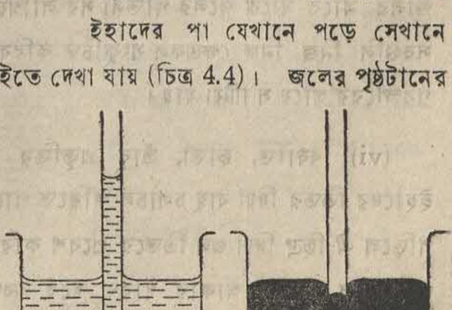
চিত্র 4.3

(ii) জলের উপর অনেক সময় নানা পোকামাকড় হাঁটিয়া যাইতে দেখা যায়। মাকড়সা জলের উপর হাঁটিলে ইহাদের পা জলে ডোবে না উপরন্তু ইহাদের পা যেখানে পড়ে সেখানে জলের তল একটু অবনমিত হইতে দেখা যায় (চিত্র 4.4)। জলের পৃষ্ঠটানের ফলেই জলতল যেন পর্দার মত টান-টান মনে হয়।



চিত্র 4.4

(iii) খুব সরু রন্ধ্রের দুই মুখ খোলা কাচের নলকে (কৈশিক নল) জলে ডোবাইলে দেখা যায় যে, নল বরাবর জল কিছুটা উপরে উঠিয়াছে (চিত্র 4.5a)। যে সব তরল কাচকে ভেজায় তাহাদের প্রত্যেকের ক্ষেত্রেই এরূপ ঘটে। পক্ষান্তরে,



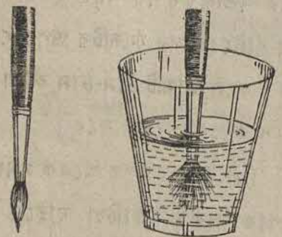
চিত্র 4.5

কাচের কৈশিক নলকে পারদে ডুবাইলে পারদতল উপরে না উঠিয়া নল বরাবর কিছুটা নামিয়া যায় (চিত্র 4.5b)।

কৈশিক নলে তরলের এইরূপ উর্ধ্বে আরোহণ বা নিম্নে অবতরণের ঘটনা তরলের পৃষ্ঠটানের দরুণ ঘটিয়া থাকে। প্রথমক্ষেত্রে (চিত্র 4.5a) কাচের পৃষ্ঠটান ও সংসক্তি জলের পৃষ্ঠটান ও সংসক্তি অপেক্ষা বেশী হওয়ায় জল কিছুটা কাচনলের উপরে উঠিয়া পড়ে। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে (চিত্র 4.5b) পারদের পৃষ্ঠটান কাচ অপেক্ষা বেশী হওয়ায় পারদ কিছুটা নীচে নামিয়া পড়ে।

(iv) তেল ও পলিতার সাহায্যে বাতি জ্বালানো, ব্লটিং পেপারে কালি শুষিয়া নেওয়া, কলমের সরু ছিদ্র দিয়া কালি বাহির হওয়া, তোয়ালে দ্বারা দ্রুত গায়ের জল শুকাইয়া ফেলা প্রভৃতি ঘটনা তরলের পৃষ্ঠটান ও কৈশিক ক্রিয়ার দ্বারা ঘটিয়া থাকে।

(v) একটি ছবি আঁকিবার তুলি জলে ডুবাইলে তুলির আঁশগুলি জলের ভিতর ফাঁক ফাঁক হইয়া থাকে। কিন্তু জলের বাইরে আনিলেই আঁশগুলি একটি অন্যটির সঙ্গে সাঁটিয়া গোছা বাঁধিয়া যায় (চিত্র 4.6)। জলের ভিতর জলের কোন পৃষ্ঠটান থাকে না, সেজন্য আঁশগুলি ফাঁক ফাঁক হইয়া থাকে। জলের বাইরে আনিলে তুলির আঁশগুলির মাঝে মাঝে জলের পাতলা সর লাগিয়া থাকে। পৃষ্ঠটানের দরুণ ঐ সরগুলি নিজ নিজ ক্ষেত্রফল সংকুচিত করিবার চেষ্টা করে। ফলে আঁশগুলি পরস্পরের গায়ে সাঁটিয়া যায়।



চিত্র 4.6

(vi) বর্ষাতি, ছাতা, তাঁবু প্রভৃতির কাপড়ে অনেক ছিদ্র থাকে এবং ইহাদের ভিতর দিয়া বায়ু চলাচল করিতে পারে। কিন্তু ইহাদের উপর জল পড়িলে ঐ ছিদ্র দিয়া জল ভিতরে প্রবেশ করিতে পারে না—কারণ, পৃষ্ঠটানের দরুন জল বিন্দুর আকার ধারণ করে এবং কাপড়ের উপর গড়াইয়া পড়িয়া যায়।

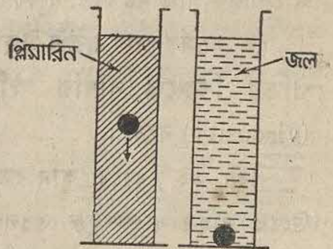
(vii) জলের উপর একফোঁটা তেল ফেলিলে তেল জলতলের উপর সমস্ত জায়গায় ছড়াইয়া পড়ে। জলের পৃষ্ঠটান তেলের পৃষ্ঠটান অপেক্ষা বেশী হওয়ায় তেলের উপর একটি টান পড়ে, ফলে তেল সমস্ত জলতলের উপর

ছড়াইয়া পড়ে। একই কারণে, তেলের উপর একফোঁটা জল পড়িলে জল তেলের উপর ছড়াইবে না।

(viii) জলের উপর ঢেউ সৃষ্টি জলের পৃষ্ঠটানের আর একটি উদাহরণ।

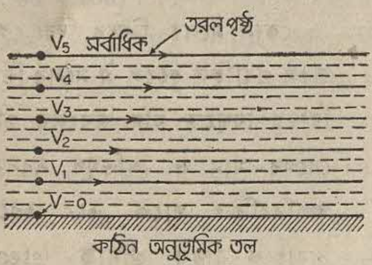
4.2. তরলের গতি ও সান্দ্রতা (Motion in fluids and Viscosity) :

দুইটি মাপক চোঙের ভিতর একটিতে জল, অন্যটিতে গ্লিসারিন লও—যেন উভয়ের গভীরতা সমান হয়। এখন দুইটি সমান আকৃতির বল একই সময়ে উপর হইতে দুইটি চোঙে ফেলিলে দেখা যাইবে যে, জলের ভিতর দিয়া পতনশীল বলটি গ্লিসারিনের ভিতর পতনশীল বলটির আগেই তলায় পৌছাইবে (চিত্র 4.7)। ইহার কারণ কি? সাধারণভাবে এই প্রশ্নের উত্তর হইল, গ্লিসারিনের আভ্যন্তরীণ ঘর্ষণ জলের আভ্যন্তরীণ ঘর্ষণ অপেক্ষা বেশী—এই ঘর্ষণ বল বলের গতির বিপরীত দিকে ক্রিয়া করায় উভয় বলেরই গতির হ্রাস হয়, কিন্তু গ্লিসারিনের ঘর্ষণবল বেশী হওয়ায় ইহার ভিতর বলটির গতির হ্রাস জলের ভিতর বলটির গতির হ্রাস অপেক্ষা বেশী হয়। সেইজন্য গ্লিসারিনের ভিতর বলটি দেরীতে পড়ে; তলের এই ঘর্ষণবলের নামই **সান্দ্রতা** (viscosity)।



চিত্র 4.7

তরলের সান্দ্রতার উৎস জানিতে হইলে কোন্ অনুভূমিক কঠিন তলের উপর তরলের প্রবাহ কিভাবে সংঘটিত হয় তাহা জানিতে হইবে (চিত্র 4.8)।



চিত্র 4.8

এই তলের সংস্পর্শে যে তরলস্তর থাকে সংসক্তির জন্য তাহার কোন গতি থাকে না। এই স্তরের ঠিক উপরের স্তরটি সামান্য গতিবেগ সহকারে প্রবাহিত হয়। আবার তৃতীয় স্তরটি দ্বিতীয় স্তরের উপর ততোধিক গতিবেগ সহকারে প্রবাহিত হয়। এইভাবে অনুভূমিক কঠিন তল হইতে তরল স্তরের দূরত্ব যত বাড়িবে তরল স্তরের গতিবেগও তত বৃদ্ধি পাইবে।

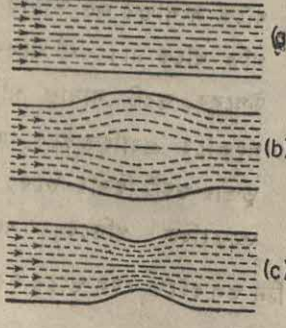
এখন যে, কোন একটি তরল স্তরের কথা ধরা যাক্। ইহার ঠিক উপরের স্তরটি বেশী গতিবেগে চলিতেছে আর ঠিক নীচের স্তরটি কম গতিবেগে

চলিতেছে। ফলে, উপরের স্তরটি উহাকে ত্বরান্বিত করিতে চেষ্টা করিবে, কিন্তু নীচের স্তর উহার গতিকে প্রতিহত করিবার চেষ্টা করিবে। এইভাবে এই দুইটি স্তর পরস্পরের আপেক্ষিক গতিকে নষ্ট করিয়া দিবে—যেন স্তরগুলির উপর স্পর্শকীয়ভাবে (tangentially) পিছন দিকে কোন বল ক্রিয়া করিতেছে। কাজেই দুই স্তরের ভিতর আপেক্ষিক গতি বজায় রাখিতে হইলে এই পশ্চাৎবর্তী বল (dragging force)-কে পরাভূত করিবার জন্য বাহির হইতে বলপ্রয়োগ করিতে হইবে। নতুবা, দুই স্তরের ভিতর আপেক্ষিক গতি নষ্ট হইয়া যাইবে এবং তরল প্রবাহও বন্ধ হইবে।

যে ধর্মের জন্য তরল উহার অভ্যন্তরস্থ বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক গতির বিরুদ্ধে বাধার সৃষ্টি করে, তাহাকে তরলের সান্দ্রতা (viscosity) বলে।

এখন এই নিয়মে কোন বস্তু কোন তরলের ভিতর গতিশীল হইলে ঐ বস্তু উহার সহিত সংস্পর্শযুক্ত তরলস্তরকে নিজের সহিত টানিয়া লইয়া চলে। এইভাবে ঐ বস্তু তরলের বিভিন্ন স্তরের ভিতর একটি আপেক্ষিক গতি সৃষ্টি করিতে চেষ্টা করে। কিন্তু তরলের সান্দ্রতা ঐ আপেক্ষিক গতির বিরুদ্ধে বাধার সৃষ্টি করে। বিভিন্ন তরলের সান্দ্রতা বিভিন্ন হওয়ায় উহাদের বাধার পরিমাণেরও তারতম্য ঘটে। ফলে একই বস্তু বিভিন্ন তরলের ভিতর বিভিন্ন দ্রুততায় পড়ে।

4.2a তরলের ধারারেখ প্রবাহ ও অবিন্যস্ত প্রবাহ (Streamlined and terbulent flow of fluids) :

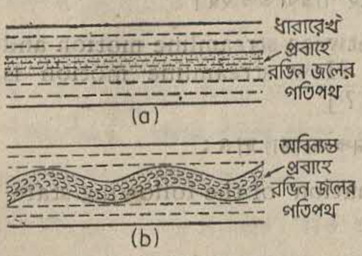


চিত্র 4.9

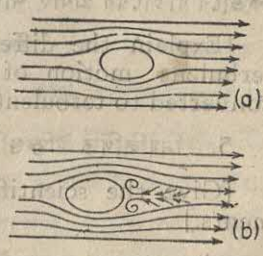
কোন নলের ভিতর দিয়া কোন তরল প্রবাহিত হইলে ঐ নলের ভিতর বিভিন্ন বিন্দুতে যদি তরলের গতিবেগের মান ও অভিমুখ সবসময়ই অপরিবর্তিত থাকে তবে তরলের প্রবাহকে **স্থির প্রবাহ** (steady motion) বা **ধারারেখ প্রবাহ** (streamline motion) বলে। এই অবস্থায় তরলের প্রতিটি কণা উহার পূর্বগামী কণার বেগ ও গতিপথকে হুবহু অনুসরণ করে। তরলের স্থির প্রবাহে তরল যে রেখা বরাবর চলে

তাহাকে **ধারারেখা** (Streamline) বলে। ছবিতে (চিত্র 4.9) বিভিন্ন রকমের স্থির প্রবাহে ধারারেখাগুলি দেখানো হইল। সুষম প্রস্থচ্ছেদযুক্ত নলে ধারারেখাগুলি নলের অক্ষের সমান্তরাল হইবে (চিত্র 4.9a)।

তরলের গতিবেগ একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে থাকিলেই উহার প্রবাহ **ধারারেখ প্রবাহ** হইবে। বেগের এই নির্দিষ্ট সীমাকে **সংকট বেগ** (critical velocity) বলে। তরলের গতিবেগ সংকট বেগের বেশী হইলে প্রবাহ আর স্থির থাকে না—প্রবাহের ভিতর স্থানে স্থানে আবর্ত (vortices) ও ঘূর্ণির (eddies) সৃষ্টি হয় এবং তরল কণার গতিপথ ও গতিবেগ নিরন্তর পরিবর্তিত হয়। এই ধরনের প্রবাহকে বলা হয় **অবিন্যস্ত প্রবাহ** (terbulent motion)। ধারারেখ প্রবাহের গতিপথের কোন স্থানে কোন রঞ্জক



চিত্র 4.10



চিত্র 4.11

দ্রব্য—যেমন, পটাস পারমাংগানেট বা গুঁড়ো নীল ধরিলে দেখা যাইবে যে, একটি সরু রঙীন জলের ধারা গতিপথ বরাবর বাহির হইয়া আসিতেছে (চিত্র 4.10a)। কিন্তু জলের গতিবেগ সংকট বেগ ছড়াইয়া গেলে রঙিন দ্রব্য নলের সর্বত্র ছাড়াইয়া পড়িবে এবং নলের সমস্ত জলই রঙীন হইয়া পড়িবে (চিত্র 4.10b)। ইহাই প্রমাণ করে জলের প্রবাহ অবিন্যস্ত হইয়া পড়িয়াছে। অনুরূপে, কোন তরলের গতিপথে কোন চোঙাকৃতি বস্তু রাখিলে তরলের বেগ যতক্ষণ কম থাকে ততক্ষণ তরলের প্রবাহ ধারারেখ হইবে (চিত্র 4.11a)। তরল পৃষ্ঠের উপর কিছু কর্কের গুঁড়া ছড়াইয়া দিলেই ইহার গতিপথ লক্ষ্য করা যাইবে। তরলের গতি সংকটবেগের সীমা ছাড়াইয়া গেলে অবিন্যস্ত প্রবাহের সৃষ্টি হয় এবং কর্কের গুঁড়ার গতিপথে বস্তুটির পিছনে আবর্তের সৃষ্টি হয় (চিত্র 4.11b)।

প্রশ্নাবলী

1. পৃষ্ঠটান কি? উদাহরণের সাহায্যে ইহার অস্তিত্ব বোঝাও। ইহার অস্তিত্বের আণবিক ব্যাখ্যা দাও।

[What is surface tension? Explain its existance with examples. Explain it by molecular theory.]

2. সান্দ্রতা কি? ইহা কিভাবে তরলে বস্তুর গতিকে নিয়ন্ত্রণ করে বোঝাও।

[What is viscosity? Explain how viscosity controls the motion of solids in fluids.]

3. একটি সরু নলের ভিতর তরল প্রবাহ কিভাবে ব্যাখ্যা করিবে। ইহার সাহায্যে কিভাবে তরলে কোন্ বস্তুর গতি ব্যাখ্যা করা যায়?

[Explain the flow of fluids in a narrow tube. How the motion of a solid in a fluid can be explained from it.]

4. তরলের ধারারেখ প্রবাহ ও অবিন্যস্ত প্রবাহের পার্থক্য বর্ণনা কর। কিভাবে ধারারেখ প্রবাহ অবিন্যস্ত প্রবাহে পরিবর্তিত হয়?

[Explain the difference between streamline motion and terbulent motion of fluid? How streamline motion is converted to terbulent motion?]

5. নিম্নলিখিত উক্তিগুলির বৈজ্ঞানিক ব্যাখ্যা দাও:

[Give the scientific explanation of the following statements.]

(i) মাকড়সা জলের উপর হাঁটিয়া গেলেও জলে ডোবে না।
[Spider can walk on water surface without sinking.]

(ii) কৈশিক নলে জল ওপরে উঠে কিন্তু পারদ উঠে না।
[Water rises up in capillary tube but mercury does not.]

(iii) কলমের সরু ছিদ্র দিয়া কালি বাহির হইয়া আসে।
[Ink flows through the narrow bore of the pen.]

(iv) ছাতার কাপড়ে ছিদ্র থাকিলেও জল পড়ে না।
[Water does not fall through the porous cloth of umbrella.]

(v) জলের উপর একফোঁটা তেল ফেলিলে তেল ছড়াইয়া পড়ে।
[A drop of oil spreads over the water surface.]

(vi) একই আকৃতির ও ধাতুর তৈয়ারী দুইটি বল সমান গভীর জলে ও তেলে ফেলিলে জলের ভিতর বলটি আগে তলায় পড়ে।

[Two balls of same size and material are dropped one in water and the other in oil of equal depth. The ball in water will reach the bottom earlier than the ball in oil.]

———

তাপ-বিজ্ঞান (Heat)

প্রথম অধ্যায়

তাপ ও তাপমাত্রা (Heat and temperature)

নবম ও দশম শ্রেণীর পাঠে তাপ ও তাপমাত্রা সম্পর্কে তোমাদের প্রাথমিক ধারণা হইয়াছে। পরবর্তী পাঠের সুবিধার জন্য এই অধ্যায়ে অধীত বিষয়-গুলির সংক্ষিপ্ত পুনরালোচনা করা হইল।

1.1. তাপ ও ইহার স্বরূপ (Heat and its nature):

তাপ সম্পর্কে আমাদের সকলেরই অল্পবিস্তর ধারণা আছে। এক বালতি বরফ-গলা জলে হাত ডুবাইলে ঠাণ্ডা বোধ হয়, আবার চায়ের কাপে চুমুক দিলে গরম লাগে। রৌদ্রে কিছুক্ষণ হাঁটা-চলা করিলেও শরীর গরম হইয়া যায়। এই ঠাণ্ডা ও গরমের অনুভূতির পিছনে যে শক্তি কাজ করিতেছে—তাহা **তাপশক্তি**। অন্যান্য শক্তির মতো ইহারও নিজস্ব কোন বস্তুগত অস্তিত্ব নাই, বস্তুর মধ্য দিয়া ইহার প্রকাশ ঘটে এবং তাহা আমরা বুঝিতে পারি বস্তু ঠাণ্ডা বা গরম হইল কিনা দেখিয়া। ঠাণ্ডা হইলে আমরা বুঝি, বস্তু তাপশক্তি বর্জন করিল, গরম হইলে তাপশক্তি গ্রহণ করিল। সুতরাং **তাপ হইল সেই শক্তি যাহা গ্রহণে বস্তু গরম হইয়া উঠে এবং বর্জনে বস্তু ঠাণ্ডা হইয়া যায়।**

বিদ্যুৎ, আলোক ইত্যাদির মতো তাপও বিশ্বের শক্তিভাণ্ডারের একটি বিশেষ রূপ মাত্র এবং অন্যান্য শক্তির মতো তাপও বিভিন্ন শক্তিতে রূপান্তরিত হইতে পারে এবং বিভিন্ন শক্তিও তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। তাপ যে এক-প্রকার শক্তি, এই ধারণা কিন্তু খুব বেশীদিনের নয়। পূর্বে মানুষ বিশ্বাস করিত, তাপ একপ্রকার অদৃশ্য বস্তুকণা, যাহা গ্যাসীয় বা তরল আকারে এক পদার্থ হইতে অন্যে সঞ্চালিত হইয়া বস্তুকে গরম বা ঠাণ্ডা করে। এই অদৃশ্য পদার্থের নাম ছিল ক্যালরিক। কালক্রমে, বিজ্ঞানের অগ্রগতির সঙ্গে এই ভুল ধারণার অবসান ঘটিয়াছে এবং মানুষ এই পরীক্ষালব্ধ সিদ্ধান্তে উপনীত হইয়াছে যে, তাপ একপ্রকার শক্তিমাত্র।

1.2. তাপের ফল (Effects of heat):

তাপ গ্রহণে বা বর্জনে বস্তু গরম বা ঠাণ্ডা হওয়া ছাড়াও দৃশ্যমান কিছু পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায়। এগুলিকে তাপের প্রত্যক্ষ ফল বলা যাইতে পারে।

(i) **অবস্থার পরিবর্তন :** একখণ্ড বরফকে একটি পাত্রে কিছুক্ষণ ঘরের মধ্যে রাখিয়া দিলে উহা বায়ুমণ্ডল হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া জলে পরিণত হয়। জলসুদ্ধ পাত্রটি উনানের উপর চাপাইলে জল ফুটিয়া বাষ্পে পরিণত হয়। বরফ, জল ও জলীয় বাষ্প—তিনটিই একই পদার্থ জলের বিভিন্ন অবস্থা। আবার জলীয় বাষ্পকে ধরিয়া শীতল করিলে উহা পুনরায় প্রথমে তরল জল ও পরে আরও শীতল করিলে কঠিন বরফে পরিণত হইবে। সুতরাং দেখা যাইতেছে, তাপ গ্রহণে বা বর্জনে পদার্থের ভৌত অবস্থার পরিবর্তন ঘটিয়া থাকে।

(ii) **আয়তন পরিবর্তন :** লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, তাপ-প্রয়োগের ফলে পদার্থের আয়তন সাধারণত বাড়িয়া যায়। বরফ, ইণ্ডিয়া রবার ইত্যাদি দু-একটি ক্ষেত্রে ইহার ব্যতিক্রম দেখা যায়—অর্থাৎ তাপ-প্রয়োগে আয়তন সংকুচিত হয়। তাপের গ্রহণে বা বর্জনে পদার্থের যে আয়তন-পরিবর্তন হয় তাহা প্রত্যক্ষ সত্য।

(iii) **রাসায়নিক পরিবর্তন :** তাপপ্রয়োগে পদার্থের রাসায়নিক ধর্মের পরিবর্তন ঘটিতে পারে। একটি টেস্ট-টিউবে অল্প পরিমাণ চিনি লইয়া উত্তপ্ত করিলে চিনি রাসায়নিক ক্রিয়ায় কার্বনে পরিণত হয়, কয়লা পোড়াইলে দহন-ক্রিয়ায় কার্বন অক্সিজেনের সহিত মিশিয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড উৎপন্ন করে।

(iv) **বৈদ্যুতিক ক্রিয়া :** তাপের প্রভাবে পদার্থের বৈদ্যুতিক গুণাগুণের পরিবর্তন সাধিত হইতে পারে। যেমন, ধাতব পদার্থের রোধের পরিবর্তন ঘটে, বিষম দুই ধাতব তারের দুই সংযোগস্থলে তাপমাত্রার পার্থক্য ঘটাইলে তড়িৎচ্চালক বল উদ্ভূত হয়।

তাপ প্রয়োগের উপরি উক্ত ফল ছাড়া আরও নানাবিধ ক্রিয়া লক্ষ্য করা যায়। যেমন, তাপ আলোক উৎপন্ন করে, তাপ ভৌত গুণাগুণ পরিবর্তন করে এবং সর্বোপরি তাপের দাহিকা-শক্তি আমাদের সাধারণ অভিজ্ঞতা।

1.3. তাপমাত্রা (Temperature) : আমাদের গরম বা ঠাণ্ডার অনুভূতি আপেক্ষিক মাত্র—কারণ, কোন বস্তু গরম বা ঠাণ্ডা বলিলে আমাদের দেহের তুলনায় বলিয়া থাকি। প্রকৃতপক্ষে, আমরা হাত দিয়া স্পর্শ করিয়া কোন বস্তুকে ঠাণ্ডা বলিলে, তাহা অন্য এক বস্তুর তুলনায় গরমও হইতে পারে। যেমন, শীতকালে চৌবাচ্চার জল ঠাণ্ডা লাগে, কিন্তু তাহা বরফ-গলা জল অপেক্ষা গরম। আসলে, প্রত্যেক বস্তুর মধ্যে, তাহা ঠাণ্ডা বা গরম যাহাই হউক না কেন, কিছু-না-কিছু তাপশক্তি অবশ্যই থাকিবে।

কোন বস্তুকে তাপ প্রদান করিলে তাহার তাপগত বা তাপীয় অবস্থার পরিবর্তন ঘটে। বস্তুর এই তাপীয় অবস্থাকে **উষ্ণতা** বা **তাপমাত্রা** বলে। দুইটি বস্তু পাশাপাশি রাখিয়া দিলে উহাদের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান ঘটিবে কিনা বা ঘটিলে কোন্ বস্তু হইতে কোন্ বস্তুতে তাপ যাইবে, বস্তু দুইটির তাপমাত্রা তাহা নিরূপণ করে। তাপ সর্বদা উচ্চ তাপীয় অবস্থার বস্তু হইতে নিম্ন তাপীয় অবস্থার বস্তুতে সঞ্চালিত হয়। দুইটি বস্তু একই তাপমাত্রায় আসিলে তাপের আদান-প্রদান বন্ধ হয়। সুতরাং বলিতে পারা যায়, **তাপমাত্রা হইল বস্তুর তাপগত অবস্থা এবং বস্তু সংশ্লিষ্ট অন্য বস্তু হইতে তাপ গ্রহণ করিবে, না অন্য বস্তুকে তাপ প্রদান করিবে, তাপমাত্রা তাহা নির্ধারণ করে।**

1.4. তাপ ও তাপমাত্রার পার্থক্য (Difference between heat and temperature) :

তাপ বাড়িলে বস্তুর তাপীয় অবস্থার মাত্রা বাড়ে, তাই তাপ ও তাপমাত্রা পরস্পরের সহিত নিবিড় সম্পর্কযুক্ত, কিন্তু উভয়ে একই অর্থ বহন করে না। উহাদের মধ্যে কতকগুলি বিশেষ সহজবোধ্য পার্থক্য রহিয়াছে।

(i) তাপ একপ্রকার শক্তি, কিন্তু তাপমাত্রা বস্তুর তাপীয় অবস্থা। কিছু পরিমাণ জলকে যদি তাপের সহিত তুলনা করা হয়, তাপমাত্রা হইবে জলের শীর্ষতল।

(ii) কোন বস্তু তাপ গ্রহণ করিলে উহার তাপমাত্রা বাড়ে, বিপরীতক্রমে, তাপ বর্জন করিলে তাপমাত্রা কমে। সুতরাং, তাপকে যদি আমরা কারণ বলি, তাপমাত্রা হইবে ইহার ফল।

(iii) তাপের প্রবাহ বস্তুতে তাপের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না, তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে।

(iv) দুইটি বস্তুর তাপমাত্রা এক হইলেও, উহাদের মধ্যে বিভিন্ন পরিমাণ তাপ থাকিতে পারে। একই ভাবে, দুইটি বস্তুর সমপরিমাণ তাপ থাকিলেও উহাদের তাপমাত্রা এক নাও হইতে পারে। ফুটন্ত জলের পাত্র হইতে এক বাটি জল তুলিয়া লইলে উভয়ের তাপমাত্রা একই থাকে, কিন্তু তাপের পরিমাণ বিভিন্ন। আবার একবাটি জল ও এক গামলা জল উভয়কেই সমপরিমাণ তাপ দিলে, বাটির জলের তাপমাত্রা বেশী হইবে।

1.5. তাপমাত্রার পরিমাপ ও স্কেল (Measurement and Scales of temperature) :

আগেই বলা হইয়াছে, ঠাণ্ডা বা গরম—উভয় অনুভূতিই আপেক্ষিক। সুতরাং, হাত দিয়া অর্থাৎ স্পর্শেন্দ্রিয়ের সাহায্যে বস্তুর উষ্ণতা বা তাপমাত্রা বিচার করা যুক্তিযুক্ত নয়। কিন্তু বস্তুর তাপমাত্রা সর্বজনগ্রাহ্য হওয়া দরকার এবং তাহার একটি সাংখ্যমান (numerical value) থাকা দরকার। লক্ষ্য করিয়া দেখা গিয়াছে, পদার্থের গলন, স্ফুটন, বাষ্পীভবন ইত্যাদি কতকগুলি প্রাকৃতিক ঘটনা প্রমাণ চাপে স্থির তাপমাত্রায় ঘটিয়া থাকে। যেমন, প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনের তাপমাত্রা ও বরফ-গলনের তাপমাত্রা সর্বকালে সর্বস্থানে একই—সুতরাং এইরূপ তাপমাত্রার সাংখ্যমান নির্দিষ্ট করিয়া দেওয়া যায়। ইহাদের **স্থিরাঙ্ক** (fixed points) বলে। বরফ-গলনের তাপমাত্রা বা **হিমাঙ্ক**-কে (freezing points) **সেলসিয়াস** বা **সেণ্টিগ্রেড স্কেল** (Celsius or Centigrade) অনুযায়ী 0° (শূন্য ডিগ্রী) বলা হয় এবং জলের স্ফুটনের তাপমাত্রা বা **স্ফুটনাঙ্ক** (boiling point)-কে 100° ধরা হয়। প্রথমটিকে নিম্ন ও দ্বিতীয়টিকে ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক বলে। এই দুই স্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী স্থানকে সমান একশতটি অংশে বিভক্ত করিলে প্রতি ভাগকে $1°C$ (এক ডিগ্রী সেলসিয়াস) বলা হয়।

সেলসিয়াস স্কেল ছাড়া আরও দুটি প্রচলিত স্কেল আছে। তাহাদের একটি **ফারেনহাইট স্কেল** (Farenheit Scale) ও অপরটি **রোমার স্কেল** (Reaumar Scale)। ফারেনহাইট স্কেলে হিমাঙ্ক $32°F$ এবং স্ফুটনাঙ্ক $212°F$ এবং ইহাদের মধ্যবর্তী স্থানকে 180-টি সমান ভাগে ভাগ করা হয় এবং প্রতি ভাগকে $1°F$ বলা হয়। রোমার স্কেলে হিমাঙ্ক 0° এবং স্ফুটনাঙ্ক 80°।

দেখা যাইতেছে, সেলসিয়াস স্কেলের 100 ভাগ ফারেনহাইট স্কেলের 180 ভাগের সমান, অর্থাৎ 1 সেলসিয়াস ডিগ্রী, $\frac{9}{5}$ ফারেনহাইট ডিগ্রীর সমান। কোন এক অজ্ঞাত তাপমাত্রা এই দুই ধরনের স্কেলে মাপিয়া যথাক্রমে C এবং F দ্বারা সূচিত করিলে, আমরা লিখিতে পারি, $\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}$.

এই সম্পর্কের সাহায্যে আমাদের এক স্কেলের পাঠ জানা থাকিলে, অন্য স্কেলে তাহার মান কত হইবে, তাহা সহজেই বাহির করিতে পারি।

তাপমাত্রা মাপিবার জন্য থার্মোমিটার বা তাপমানযন্ত্র (thermometer) ব্যবহার করা হয়। তাপপ্রয়োগে পদার্থের যে ভৌতধর্ম (যেমন, দৈর্ঘ্য, আয়তন,

চাপ ইত্যাদি) পরিবর্তিত হয়, তাহার হ্রাস-বৃদ্ধি দেখিয়া তাপমাত্রা নির্ণয় করা হয়। যেমন, পারদ থার্মোমিটারে সরু নলের মধ্যে পারদের প্রসারণ বা সংকোচন লক্ষ্য করিয়া তাপমাত্রা বিচার করা হয়।

উদাহরণ : (1) যে তাপমাত্রা সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট উভয় স্কেলেই একই সংখ্যা দ্বারা প্রকাশ করা যায়, তাহা বাহির কর। [H.S. 1960]

উত্তর : মনে করি, নির্ণেয় তাপমাত্রা x°.

সুতরাং, $\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}$ সূত্রে C এবং F এর পরিবর্তে x লিখিলে,

$$\frac{x}{100}=\frac{x-32}{180},$$

বা, $\frac{x}{5}=\frac{x-32}{9}$,

বা, $9x=5x-160$,

বা, $4x=-160$,

$\therefore$ $x=-40^\circ$। [$-40^\circ C=-40^\circ F$]

(2) কোন থার্মোমিটারে নিম্ন ও উর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক যথাক্রমে 20° এবং 140°। $92^\circ F$ তাপমাত্রায় এই থার্মোমিটারে পাঠ কত হইবে? [H.S. 1962]

উত্তর : আলোচ্য থার্মোমিটারে প্রাথমিক অন্তর $=140-20=120$ ভাগ

এই থার্মোমিটারে তাপমাত্রা T দ্বারা সূচিত করিলে, ফারেনহাইটের সহিত সম্পর্কে লিখিতে পারি, $\frac{T-20}{120}=\frac{F-32}{180}$,

বা, $\frac{T-20}{2}=\frac{F-32}{3}$,

এখন $F=92$ বসাইলে, নির্ণেয় পাঠ T-এর মান পাওয়া যাইবে।

$\therefore$ $\frac{T-20}{2}=\frac{92-32}{3}$,

বা, $\frac{T-20}{2}=\frac{60}{3}$,

বা, $\frac{T-20}{2}=20$,

বা, $T=2\times 20+20$,

$=60^\circ$

প্রশ্নাবলী

1. তাপ কি? বস্তুর উপর তাপের ফল বল। তাপমাত্রা বলিতে কি বোঝ? তাপ ও তাপমাত্রার পার্থক্য নিরূপণ কর।

[What is heat? State the effects of heat on bodies. What do you mean by temperature? Distinguish between heat and temperature.]

2. তাপমাত্রার স্কেল বলিতে কি বোঝায়? সেলসিয়াস ও ফারেনহাইট স্কেলের সম্বন্ধ নির্ণয় কর। সালফারের গলনাঙ্ক 444·6°C। ফারেনহাইট স্কেলে উহার মান কত হইবে?

[What is meant by the scale of temperature? Find a relation between Celsius and Farenheit scales. The melting point of sulphur is 444·6°C What will be its corresponding value in Farenheit Scale?] [Ans. 832·28°F]

3. কোন একদিনের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা 120·2°F দেখা গেল। সেলসিয়াস স্কেলে উহার মান কত হইবে? [H.S. 1961]

[The maximum temperature on a certain day was observed to be 120·2°F. What would be its corresponding value on the Celsius Scale?] [Ans. 49°C]

4. কোন বস্তুর তাপমাত্রা 25°C বৃদ্ধি পাইল। ফারেনহাইট স্কেলে এই বৃদ্ধি কত? [H.S. 1964]

[The temperature of a body rises by 25°C. How much is this increase in Farenheit Scale?] [Ans. 45 F degree]

5. একই তাপমাত্রা সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট থার্মোমিটারে 48° তফাৎ পাওয়া গেল। উভয় থার্মোমিটারে ঐ তাপমাত্রা কত? [H.S. 1966]

[The same temperature when read on Centigrade and Farenheit thermometers gives a difference of 48°. What is the number in degrees indicated by each thermometer?]
[Ans. 20°C, 68°F, or −100°C, −148°F]

6. কোন ত্রুটিপূর্ণ থার্মোমিটারে হিমাঙ্ক 5°C এবং স্ফুটনাঙ্ক 99°C হইলে, যখন ইহাতে 52°C দেখায়, তখন ফারেনহাইট স্কেলে তাপমাত্রার যথার্থ মান কত?

[A faulty thermometer reads 5°C in melting ice and 99°C in boiling water. Find the correct temperature in Farenheit scale when this thermometer reads 52°C] [Ans. 122°F]

7. একটি ফারেনহাইট থার্মোমিটারে যখন 110°, তখন একটি ত্রুটিপূর্ণ সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটারে 44°; ঐ থার্মোমিটারের ত্রুটি কতখানি?

[A Farenheit thermometer reads 110° while a faulty Centigrade thermometer reads 44°. What is the error in the latter [Ans. −·67°C]

দ্বিতীয় অধ্যায়

কঠিন পদার্থের প্রসারণ

(Expansion of solids)

2.1. বিভিন্ন ধরনের প্রসারণ (Different kinds of expansion) :

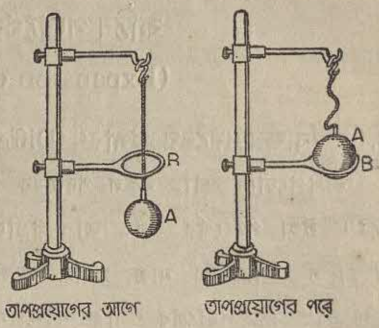
তাপপ্রয়োগে প্রায় সকল পদার্থের (কঠিন, তরল এবং গ্যাসীয়) প্রসারণ ঘটে। ইহা পদার্থের উপর তাপ-প্রভাবের প্রত্যক্ষ ফল। পদার্থের তিন অবস্থাতে প্রসারণের মাত্রা সমান নয়, গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণই সর্বাপেক্ষা বেশী এবং কঠিন পদার্থের প্রসারণ সর্বাপেক্ষা কম। তরল বা গ্যাসীয় পদার্থের নিজস্ব কোন আকার না থাকায়, ইহাদের ক্ষেত্রে কেবলমাত্র আয়তনের প্রসারণই সম্ভব। অন্যদিকে, কঠিন বস্তুর সুনির্দিষ্ট আকার থাকায়, দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল এবং আয়তন, এই তিনপ্রকার প্রসারণ ঘটিবে।

কঠিন বস্তুর দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা, তিনটিই আছে। সুতরাং, এইরূপ ঘনপদার্থের উপর তাপ প্রয়োগ করিলে তিনটি মানেরই বৃদ্ধি ঘটিবে—ফলে **আয়তনের প্রসারণ** (volume expansion) ঘটিবে। কিন্তু আমরা যদি প্রসারণ বিচার কেবলমাত্র দৈর্ঘ্যেই সীমাবদ্ধ রাখি, তবে দৈর্ঘ্য বরাবর যে প্রসারণ ঘটে, তাহাকে **দৈর্ঘ্য প্রসারণ** (linear) বলি। উদাহরণ-স্বরূপ, একটি অত্যন্ত সরু অথচ দীর্ঘ ধাতব তারকে উত্তপ্ত করা হইলে প্রস্থচ্ছেদের যে প্রসারণ ঘটে তাহাকে দৈর্ঘ্যমুখী প্রসারণের তুলনায় নগণ্য বলিয়া ধরিতে পারি। ফলে, তারটির দৈর্ঘ্য প্রসারণই কেবলমাত্র এক্ষেত্রে বিচার করা হয়। আবার, একখণ্ড পাতলা ধাতব পাতকে উত্তপ্ত করিলে দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থ উভয়দিকেই ইহার প্রসারণ ঘটে। পাতের বেধ বরাবর যে সামান্য প্রসারণ ঘটে, তাহাকে উপেক্ষা করিলে পাতটির দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থ বরাবর দৈর্ঘ্য প্রসারণের ফলকে একত্রে **ক্ষেত্রপ্রসারণ** (Surface expansion) বলা যাইতে পারে।

2.2. প্রসারণের কয়েকটি সহজ পরীক্ষা (Simple experiments on expansion) :

(a) **গ্রেভস্যাণ্ডের গোলক ও আংটার পরীক্ষা** (Gravesand's sphere and ring experiment)-র সাহায্যে কঠিন পদার্থের প্রসারণ সহজে দেখান যাইতে পারে। একটি ফাঁপা পিতলের গোলক (A) একটি স্ট্যাণ্ডের

উপরিভাগে আটকানো হুকের সাহায্যে ঝোলান আছে (চিত্র 2.1)। সাধারণ তাপমাত্রায় গোলকটি স্ট্যাণ্ডের নীচের দিকে আটকানো আংটার (B) ভিতর দিয়া গলাইয়া যাইতে পারে। এখন গোলকটিকে আংটার বাহিরে আনিয়া বুনসেন বার্ণারের সাহায্যে উত্তপ্ত করা হইল। উত্তপ্ত অবস্থায় গোলকটিকে আংটার ভিতর দিয়া গলাইবার চেষ্টা করিলে দেখা যাইবে যে, উহা আর আগের মত গলিয়া যাইতেছে না। তাপপ্রয়োগের ফলে গোলকটির আয়তন প্রসারণ ঘটাই ইহার কারণ।

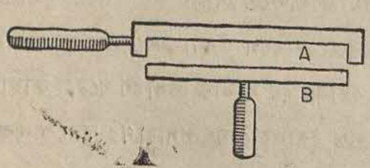


চিত্র 2.1

গোলকটি ঘরের তাপমাত্রায় ফিরিয়া আসিলে দেখা যাইবে, ইহা আবার আংটার ভিতর দিয়া গলিতেছে।

মনে রাখিতে হইবে, তাপগ্রহণে পদার্থের যে প্রসারণ ঘটে, তাহা ক্ষণস্থায়ী। তাপের প্রভাব যতক্ষণ থাকে, ততক্ষণই মাত্র পদার্থ প্রসারিত অবস্থায় থাকে। অবস্থান্তর না ঘটিলে, পদার্থ তাপ-বর্জনে সংকুচিত হইয়া স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে।

(b) **দণ্ড ও গেজের পরীক্ষা** (Bar and gauge experiment)-র সাহায্যে পদার্থের প্রসারণ দেখান যায়। A একটি প্রসারিত উল্টা U অক্ষরের ন্যায় ধাতব গেজ। ইহার একপ্রান্তে কাঠের হাতল আছে। হাতলসহ একটি ধাতব দণ্ড B-র দৈর্ঘ্য এরূপ যে, স্বাভাবিক তাপমাত্রায় উহা গেজের খাঁজের মধ্যে ঠিক ঠিক আটকাইয়া যাইতে পারে (চিত্র 2.2)। হাতলের সাহায্যে দণ্ডটিকে ধরিয়া বুনসেন বার্ণারে উত্তপ্ত করিলে, উহা দৈর্ঘ্যে প্রসারিত হইবে। এইরূপ অবস্থায় দেখা যাইবে যে, উহা আর গেজের খাঁজে ঢুকিতেছে না। দণ্ডটি স্বাভাবিক তাপমাত্রায় ফিরিয়া আসিলে আবার উহাকে খাঁজে প্রবেশ করান যাইবে।

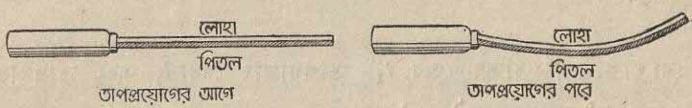


চিত্র 2.2

2.3 প্রসারণ সম্পর্কে দুইটি জ্ঞাতব্য তথ্য (Two informations about expansion) :

পদার্থের প্রকৃতির উপর প্রসারণের মান নির্ভর করে। একই পরিমাণ তাপ একই আকৃতির দুইটি বিভিন্ন বস্তুর উপর প্রয়োগ করিলে বিভিন্ন প্রসারণ ঘটে। উপরন্তু, পদার্থের প্রসারণ ও সংকোচনের ফলে প্রচণ্ড পরিমাণ বল উদ্ভূত হয়। নীচের দুইটি পরীক্ষার মাধ্যমে বিষয় দুইটি যথাক্রমে দেখান হইয়াছে।

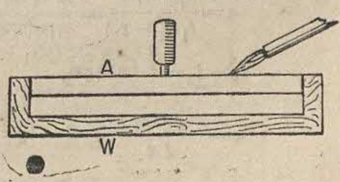
(a) **বিভিন্ন পদার্থের প্রসারণের বিভিন্নতা পরীক্ষা**—একই মাপের একটি লোহা ও একটি পিতলের পাত একসঙ্গে রিভেট করিয়া দৃঢ়ভাবে আটকানো আছে (চিত্র 2.3)। উহাদের সঙ্গে সংযুক্ত একটি কাঠের হাতল ধরিয়া পাত দুইটিকে একসঙ্গে উত্তপ্ত করিলে দ্বিধাতব পাতটি বাঁকিয়া



চিত্র 2.3

যাইবে। এক্ষেত্রে, লোহা ও পিতলের একই তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে প্রসারণ বিভিন্ন বলিয়া ঐরূপ বক্রতা ঘটে। দেখা যাইবে, লোহার পাতটি ভিতরের দিকে আর পিতলের পাতটি বক্রতার উপর পিঠে আছে। ইহার দ্বারা বোঝা যায় যে, পিতলের প্রসারণ অপেক্ষা লোহার প্রসারণ কম।

(b) **প্রসারণ ও সংকোচনে বলের উদ্ভব হয়**—প্রসারণ দেখাইবার দণ্ড ও গেজের পরীক্ষাটি সামান্য পরিবর্তন করিয়া পদার্থের প্রসারণজনিত বলের উদ্ভব দেখান যাইতে পারে। একটি শক্ত কাঠের গেজ (W)-এর মধ্যে একটি ধাতব দণ্ড (A) আটকানো আছে (চিত্র 2.4)। এই অবস্থায় বুন-সেন বার্ণারের সাহায্যে দণ্ডটি উত্তপ্ত করিলে দেখা যাইবে, গেজের খাঁজের দুই প্রান্তের উঁচু অংশদ্বয় ভাঙিয়া যাইতেছে। উত্তাপে দণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণের জন্য উদ্ভূত বলের প্রভাবে এইরূপ হইতেছে। কাঠের গেজের পরিবর্তে দণ্ড অপেক্ষা কম দৃঢ় ধাতব গেজ লইয়া অনুরূপ পরীক্ষা করিলেও গেজটির দুই প্রান্ত বাঁকিয়া যাইবে।



চিত্র 2.4

এই কারণে, লোহার সেতুর একপ্রান্ত ইটের গাঁথনির মধ্যে দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে আর অপর প্রান্ত সাধারণত একটি রোলারের উপর রাখা থাকে। ইহাতে সেতুর প্রসারণের স্থান পাওয়া যায়। দুই প্রান্তই গাঁথনির সহিত দৃঢ়সংবদ্ধ থাকিলে, সেতুটি উষ্ণতার তারতম্যে বাঁকিয়া যাইত।

2.4. বিভিন্ন প্রসারণ গুণাঙ্ক ও তাহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক (Different co-efficients of expansion and their inter-relations) :

(a) দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক :—

একক দৈর্ঘ্য-পরিমাণ কোন কঠিন পদার্থের এক ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে পরিমাণ দৈর্ঘ্য-প্রসারণ হয়, তাহাকে ঐ পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of linear expansion) **বলে।**

ধরা যাক, কোন ধাতব দণ্ডের $t_1°$ তাপমাত্রায় দৈর্ঘ্য l_1 এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিয়া $t_2°$ তাপমাত্রায় দৈর্ঘ্য l_2 দেখা গেল।

সুতরাং $(t_2-t_1)°$ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে দণ্ডটির দৈর্ঘ্য-প্রসারণ $=l_2-l_1$

∴ $1°$ " " " " " $=\dfrac{l_2-l_1}{t_2-t_1}$

একক দৈর্ঘ্যে $1°$ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য দৈর্ঘ্য-প্রসারণ $=\dfrac{l_2-l_1}{l_1(t_2-t_1)}$

দৈর্ঘ্য-প্রসারণের গুণাঙ্কের সংজ্ঞা অনুসারে ইহাই পদার্থটির দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক এবং ইহাকে α দ্বারা সূচিত করিলে,

$$\alpha=\frac{l_2-l_1}{l_1(t_2-t_1)}=\frac{\text{দৈর্ঘ্য-প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}\times\text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

$t_2-t_1=t$ লিখিলে,

$$\alpha=\frac{l_2-l_1}{l_1t}\;\cdots\cdots\cdots(1)$$

বা, $l_2-l_1=l_1\alpha t$

বা, $l_2=l_1+l_1\alpha t$

$$\therefore\; l_2=l_1(1+\alpha t)\cdots\cdots\cdots(2)$$

কোন দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য (l_1), তাপমাত্রা বৃদ্ধি (t) এবং দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক (α) জানা থাকিলে, চূড়ান্ত দৈর্ঘ্য (l_2) 2-নং সমীকরণ হইতে সহজে বাহির করা যায়।

দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক তাপমাত্রার এককের উপর নির্ভর করে। 1-নং সমীকরণে α-র মান তাপমাত্রা-বৃদ্ধি (t) কোন্ স্কেলে মাপা হইয়াছে, তাহার উপর নির্ভরশীল। t-র মান °C-এ মাপিলে

$\alpha_C = \frac{l_2 - l_1}{l_1 t} / °C$ এবং t-র মান °F-এ মাপিলে

$\alpha_F = \frac{l_2 - l_1}{l_1 t} / °F$ লেখা হইবে। যেহেতু 1°F তাপমাত্রা বৃদ্ধি, $\frac{5}{9}$°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির সমান, কাজেই $\alpha_F = \frac{5}{9}\alpha_C$

উদাহরণস্বরূপ, পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000019/°C, যদি তাপমাত্রা সেলসিয়াস এককে মাপা হয় এবং পরিবর্তে যদি তাপমাত্রা ফারেনহাইট এককে বলা হয়, তবে ইহার মান হইবে ·000019 × $\frac{5}{9}$/°F বা ·000011/°F (প্রায়)।

দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক দুইটি দৈর্ঘ্যের অনুপাত হওয়ায় গুণাঙ্ক দৈর্ঘ্যের এককের উপর নির্ভরশীল নয়। যেমন, 1 মিটার লম্বা পিতলের দণ্ডের 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে উহা (1+·000019) মিটার হইবে, 1 গজ লম্বা দণ্ডের 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে উহা (1+·000019) গজ হইবে, ইত্যাদি। কিন্তু, 1 মিটার লম্বা ঐ দণ্ডের 1°F তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে উহা (1+·000011) মিটার হইবে।

উদাহরণ : (1) 0°C তাপমাত্রায় একটি অ্যালুমিনিয়াম দণ্ডের দৈর্ঘ্য 100 সে.মি. এবং 100°C-এ দৈর্ঘ্য 100·22 সে.মি. হইলে অ্যালুমিনিয়ামের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক কত ?

উত্তর : এখানে প্রাথমিক দৈর্ঘ্য $l_1 = 100$ সে.মি.

চূড়ান্ত „ $l_2 = 100·22$ সে.মি.

∴ দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি $l_2 - l_1 = (100·22 - 100)$ সে.মি. বা 0·22 সে.মি.

তাপমাত্রা-বৃদ্ধি $= (100 - 0)°C$ বা 100°C

∴ দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক, $\alpha = \frac{0·22 \text{ সে.মি.}}{100 \text{ সে.মি.} \times 100°C} = \frac{0·22}{10^4}$ °C

$= \mathbf{·22 \times 10^{-4}}/°C$

(2) একটি দস্তা দণ্ডের তাপমাত্রা 59°F হইতে 100°C-এ উন্নীত করায় দৈর্ঘ্য 5 মি.মি. বৃদ্ধি পায়। দস্তার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক, $\alpha = 0·000029/°C$ হইলে দণ্ডটির প্রাথমিক দৈর্ঘ্য কত ছিল ? [H.S. 1960]

উত্তর : $\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}$ সূত্র হইতে $52^\circ F$-কে $^\circ C$-এ রূপান্তরিত করিতে হইবে।

$$\therefore \frac{C}{5}=\frac{59-32}{9}$$

$$\text{বা } C=\frac{27}{9}\times 5=15^\circ C$$

$\therefore$ দণ্ডের তাপমাত্রা বৃদ্ধি$=100^\circ C-15^\circ C=85^\circ C$।

দণ্ডের দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি$=5$ মি.মি.$=0.5$ সে.মি.।

প্রাথমিক দৈর্ঘ্য l সে.মি. ধরিলে,

$\alpha=\frac{\text{দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}\times\text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$ হইতে লিখিতে পারি,

$$0.000029=\frac{0.5}{l\times 85}$$

$\therefore l=\frac{0.5}{85\times .000029}$ বা **202.8** সে.মি. (প্রায়)।

(b) **ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক : কোন কঠিন পদার্থের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে পরিমাণ ক্ষেত্র-প্রসারণ হয়, তাহাকে ঐ পদার্থের ক্ষেত্রপ্রসারণ গুণাঙ্ক** (Co-efficient of surface expansion) **বলে**।

ধরা যাক, কোন ধাতব পাতের t_1° তাপমাত্রায় ক্ষেত্রফল S_1 এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিয়া t_2° তাপমাত্রায় ক্ষেত্রফল S_2 দেখা গেল।

সুতরাং $(t_2-t_1)^\circ$ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে পাতটির ক্ষেত্র-প্রসারণ$=S_2-S_1$

$\therefore$ 1° " " " " " $=\frac{S_2-S_1}{t_2-t_1}$

$\because$ একক ক্ষেত্রফলে 1° " " " " " $=\frac{S_2-S_1}{S_1(t_2-t_1)}$

ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা অনুসারে, ইহাই পদার্থটির ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক এবং ইহাকে β দ্বারা সূচিত করিলে।

$$\beta=\frac{S_2-S_1}{S_1(t_2-t_1)}=\frac{\text{ক্ষেত্র-প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক ক্ষেত্রফল}\times\text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

$t_2-t_1=t$ লিখিলে

$$\beta=\frac{S_2-S_1}{S_1 t}$$

$$\text{বা } S_2=S_1(1+\beta t)\cdots\cdots(3)$$

ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক দুইটি ক্ষেত্রফলের অনুপাত হওয়ায় উহা ক্ষেত্রফলের এককের উপর নির্ভর করে না। কিন্তু তাপমাত্রার এককের উপর নির্ভরশীল। দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্কের মত এক্ষেত্রেও $\beta_F = \frac{5}{9}\beta_C$।

(c) **আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক : কোন কঠিন পদার্থের প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে পরিমাণ আয়তনের প্রসারণ হয়, তাহাকে ঐ পদার্থের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক** (Co-efficient of volume expansion) **বলে।**

ধরা যাক, কোন ধাতুখণ্ডের $t_1°$ তাপমাত্রায় আয়তন V_1 এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিয়া $t_2°$ তাপমাত্রায় আয়তন V_2 দেখা গেল।

সুতরাং $(t_2 - t_1)°$ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে দণ্ডটির আয়তন প্রসারণ $= V_2 - V_1$

$\therefore$ $1°$,, ,, ,, ,, ,, $= \dfrac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$

$\therefore$ একক আয়তনে $1°$,, ,, ,, ,, ,, $= \dfrac{V_2 - V_1}{V_1(t_2 - t_1)}$

আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা অনুসারে, ইহাই পদার্থটির আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক এবং ইহাকে γ দ্বারা সূচিত করিলে,

$$\gamma = \frac{V_2 - V_1}{V_1(t_2 - t_1)} = \frac{\text{আয়তন-প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

$t_2 - t_1 = t$ লিখিলে, $\gamma = \dfrac{V_2 - V_1}{V_1 t}$

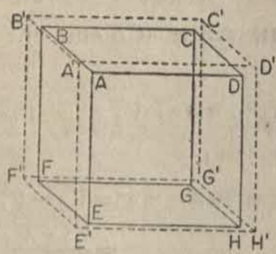
বা $V_2 = V_1(1 + \gamma t) \cdots\cdots\cdots(4)$

আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্কও দুইটি আয়তনের অনুপাত হওয়ায় উহা আয়তনের এককের উপর নির্ভর করে না ; কিন্তু তাপমাত্রার এককের উপর নির্ভরশীল। অর্থাৎ $\gamma_F = \frac{5}{9}\gamma_C$.

[প্রকৃতপক্ষে, বিভিন্ন প্রসারণ-গুণাঙ্কের যথার্থ মান বাহির করিতে হইলে $0°C$-এ বস্তুর দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল বা আয়তন বিচার করা উচিত এবং $1°$ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য উহাদের মানের কতটুকু বৃদ্ধি হয় তাহা দেখিয়া গুণাঙ্কগুলির মান বাহির করা উচিত। কারণ, α, β এবং γ, প্রাথমিক এবং চূড়ান্ত তাপমাত্রার উপর সামান্য পরিমাণে নির্ভর করে। কিন্তু প্রাথমিক দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল ইত্যাদি $0°$ তাপমাত্রায় না রাখিয়া অন্য যে-কোন তাপমাত্রায় রাখিলে α, β এবং γ-র যে মান পাওয়া যায়, তাহাদের সহিত প্রকৃত মানগুলির খুব বেশী তফাৎ হয় না। এজন্য ব্যবহারিক ক্ষেত্রে বস্তুকে $0°$তে আনিবার প্রয়োজন হয় না।]

(d) **গুণাঙ্কগুলির পারস্পরিক সম্পর্ক :** কোন পদার্থের α, β-এবং γ-র মানগুলি পরস্পর সম্পর্কযুক্ত। নিম্নে ইহাদের সম্পর্কটি বাহির করা হইল।

মনে করা যাক, $ABCDEFGH$ কোন পদার্থের একটি একক ঘনক $0°C$ তাপমাত্রায় রাখা আছে (চিত্র 2.5)। ইহার প্রতিটি বাহুর দৈর্ঘ্য যেন 1 সে. মি. করিয়া। ঘনকটিকে $1°C$ তাপমাত্রায় উন্নীত করিলে উহার প্রতিটি বাহুই বৃদ্ধি পাইবে এবং ঘনকটির বর্ধিত অবস্থায় অবস্থান A' B' C' D' E' F' G' H' দ্বারা সূচিত করা হইল। অর্থাৎ AB বাহুর বর্ধিত মান A' $B'=(1+\alpha)$ সে. মি.। এইরূপে, প্রতিটি বর্ধিত বাহুরই মান $(1+\alpha)$ সে. মি. হইবে।



চিত্র 2.5

(i) ঘনকটির যে-কোন একটি তলের ($ABCD$) প্রসারণ বিচার করিলে দেখা যাইবে যে, প্রসারিত অবস্থাতেও তলটি বর্গক্ষেত্রাকার (A' B' C' D'), কারণ পদার্থটি সমসারক (isotropic)।

$0°C$-এ $ABCD$ তলের ক্ষেত্রফল, $S_0=1$ সে. মি. $\times 1$ সে. মি. $=1$ সে.মি.^{2},

ও $1°C$-এ $A'B'$ C' D' ,, ,, $S_1=(1+\alpha)$ সে. মি. $\times(1+\alpha)$ সে. মি.,

$=(1+2\alpha+\alpha^2)$ সে. মি.^{2},

$\simeq(1+2\alpha)$ সে. মি^{2}. [αখুব ছোট বলিয়া α^2কে উপেক্ষা করা হয়]······(A)

আবার ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক অনুযায়ী, $S_1=S_0(1+\beta t)$, এখানে $t=1$, $S_0=1$

$\therefore$ $S_1=1+\beta$······(B)

(A) এবং (B) তুলনা করিলে $\beta=2\alpha$

(ii) $0°C$ তাপমাত্রায় ঘনকটির আয়তন, $V_0=1$ সে. মি. $\times 1$ সে. মি. $\times 1$ সে. মি. $=1$ সে. মি.^{3}

$1°C$,, ,, ,, $V_1=(1+\alpha)^3$ সে. মি.^{3}

$=(1+3\alpha+3\alpha^2+\alpha^3)$ সে. মি.^{3}

$\simeq(1+3\alpha)$ সে. মি.^{3} [α^2 ও α^3 উপেক্ষা করিয়া]······(C)

আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক অনুযায়ী V_0 এবং V_1-এর সম্পর্ক

$$V_1=V_0(1+\gamma)······(D)$$

এখানে $V_0=1$, $\therefore$ (C) এবং (D) তুলনা করিলে

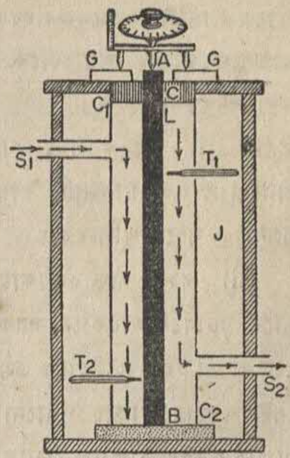
$$\gamma=3\alpha$$

তিনটি গুণাঙ্ক একসঙ্গে লিখিলে, $\alpha : \beta : \gamma = 1 : 2 : 3$.

2.5. দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the co-efficient of linear expansion) :

দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক বাহির করিবার জন্য বিভিন্ন পরীক্ষামূলক পদ্ধতি আছে। এখানে **পুলিঞ্জারের পদ্ধতিটি** (Pullinger's method) বর্ণনা করা হইল।

C_1 C_2 একটি ধাতব চোঙ (চিত্র 2.6)। ইহার ভিতর পরীক্ষাধীন পদার্থের একটি দণ্ড AB ঢুকানো আছে। দণ্ডের নিম্নপ্রান্ত B একখণ্ড কাচের উপর রক্ষিত। ইহাতে দণ্ডের প্রসারণ B প্রান্তে হইতে পারিবে না। A প্রান্ত চোঙের মুখে লাগান কর্কের ছিপি C-র ফুটা দিয়া একটু বাহির করা। মাঝখানে ছিদ্র-করা একটি কাচের প্লেট GG কর্কের উপর রাখা আছে। A প্রান্ত এই ছিদ্রের ভিতর দিয়া গিয়াছে। একটি স্ফেরোমিটারের মধ্যপদ A প্রান্তকে স্পর্শ করে, বাকী পায়াগুলি GG প্লেটের উপর অবস্থান করে। CC' চোঙের বাহিরে আর একটি চোঙ J আছে এবং উহার বাহিরের গাত্র তাপ-নিবারক পদার্থ দ্বারা আবৃত। স্টীম S_1 ছিদ্রপথ দিয়া চোঙে প্রবেশ করে এবং S_2 ছিদ্রপথ দিয়া বাহির হইয়া যায়। CC' চোঙের গাত্রে অপর দুইটি ছিদ্রের ভিতর দিয়া T_1 এবং T_2 থার্মোমিটার দুইটি ঢুকানো আছে।



চিত্র 2.6

AB দণ্ডটিকে বাহিরে আনিয়া স্কেলের সাহায্যে ইহার দৈর্ঘ্য (l) মাপা হইল। উহাকে এবার চোঙের মধ্যে বসাইয়া স্ফেরোমিটারের মাঝখানের পা দিয়া উপর প্রান্তকে স্পর্শ করা হইল এবং স্ফেরোমিটারে প্রাথমিক পাঠ লওয়া হইল। T_1 এবং T_2 থার্মোমিটারের গড় পাঠ লওয়া হইল এবং উহাই দণ্ডটির প্রাথমিক তাপমাত্রা ($t_1°$) নির্দেশ করে। স্ফেরোমিটারের মাঝখানের পায়াটি বেশ উপরে তুলিয়া S_1 ছিদ্রপথে স্টীম প্রবেশ করান হইল। ইহাতে

দণ্ডটি ধীরে ধীরে উপরের দিকে প্রসারিত হইবে। চোঙের ভিতরের তাপমাত্রা অনেকক্ষণ ধরিয়া স্টীমের তাপমাত্রায় যখন থাকিবে তখন T_1 এবং T_2-র গড়পাঠ (t_2) লওয়া হইল। এই অবস্থায় স্ফেরোমিটারের মাঝখানের পায়াটি ধীরে ধীরে নামাইয়া A প্রান্ত স্পর্শ করা হইল এবং স্ফেরোমিটারের পাঠ লওয়া হইল। পূর্বের পাঠ ও বর্তমানের পাঠের অন্তর হইতে দণ্ডটির মোট প্রসারণ (x) পাওয়া গেল। সুতরাং

$$\alpha = \frac{\text{দৈর্ঘ্য-প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}} = \frac{x}{l(t_2 - t_1)}$$

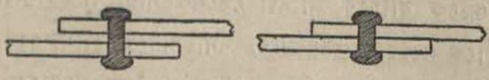
2.6. কঠিন পদার্থের প্রসারণের কয়েকটি প্রয়োগ (Some applications of expansion of solid) :

ব্যবহারিক জীবনে আমরা কঠিন পদার্থের প্রসারণশীলতা ধর্মকে অনেক কাজে লাগাই। অনেক সময় এই ধর্ম আমাদের অসুবিধারও সৃষ্টি করে। বাস্তবক্ষেত্রে এই অসুবিধাকে কিভাবে দূর করা যায়, তাহারও দু-একটি উদাহরণ দেওয়া হইল।

2.6a (i) অনেক সময় কাচের শিশি-বোতলের ধাতব ঢাকনা জোরে আঁটিয়া যায়। ঢাকনাটি তাপ দিয়া সামান্য গরম করিলেই উহার প্রসারণ ঘটে এবং সহজে খুলিয়া যায়।

(ii) গরুর গাড়ীর চাকায় যে লোহার বেড় লাগান থাকে, তাহা চাকার গায়ে দৃঢ়ভাবে আটকানো দরকার। এজন্য চাকার মাপ অপেক্ষা কম মাপের বেড় লওয়া হয় এবং উহাকে উত্তপ্ত করা হয়। ফলে বেড় বাড়িয়া যায় এবং সেই অবস্থায় চাকায় পরানো হয়। জল ঢালিয়া বেড় ঠাণ্ডা করিলে উহা সংকুচিত হইয়া চাকাকে জোরে চাপিয়া ধরে।

(iii) রিভেট করিয়া দুইটি ধাতব প্লেট দৃঢ়ভাবে সংযুক্ত করা যায়। প্লেট দুইটি পর পর রাখিয়া উহাদের মধ্যে একটি ফুটা করা হয় এবং রিভেটটি গরম

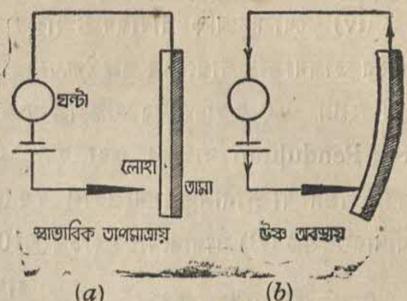


(a) (b)

চিত্র 2.7

করিয়া ফুটার মধ্যে ঢুকান হয় (চিত্র 2.7a)। ঠাণ্ডা হইলে প্লেট দুইটি জোরে আটকাইয়া ধরে (চিত্র 2.7b)।

(iv) স্বয়ংক্রিয় অগ্নিসংকেতের (automatic fire-alarm) জন্য দ্বিধাতব পাতের প্রসারণকে কাজে লাগান হয়। স্বাভাবিক তাপমাত্রায় প্লেটটি সোজা থাকে। ফলে, বৈদ্যুতিক ঘণ্টার বর্তনীটি সংহত হয় না এবং ঘণ্টা বাজে না (চিত্র 2.8a)। প্লেটটি তাপ পাইলে প্রসারিত হইয়া বাঁকিয়া যায় এবং সংযোগ-স্ক্রুকে স্পর্শ করে। ফলে, ঘণ্টা বাজিতে থাকে (চিত্র 2.8b)।



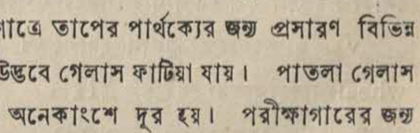
চিত্র 2.8

2.6b প্রসারণজনিত অসুবিধা ও তাহার প্রতিকার :

(i) রাসায়নিক পরীক্ষাগারে তোমরা কাচদণ্ডের মাথায় লাগানো প্লাটিনাম বা কয়েকটি সংকর ধাতুর তার ব্যবহার কর। ইহার কারণ, ঐ সমস্ত পদার্থের প্রসারণ-গুণাঙ্ক মোটামুটিভাবে কাচের প্রসারণ গুণাঙ্কের সমান। ফলে, তাপমাত্রার তারতম্যে উহারা আলগা হইয়া খুলিয়া যায় না। তামা বা অন্য কোন ধাতব তার ব্যবহার করিলে প্রসারণ গুণাঙ্কের পার্থক্যহেতু তারটি কাচদণ্ড হইতে খুলিয়া যাইত।

(ii) পুরু কাচের গেলাসে হঠাৎ গরম জল ঢালিলে উহা বেশীর ভাগ ক্ষেত্রেই ফাটিয়া যায়। ইহার কারণ, কাচ তাপের কুপরিবাহী; ফলে, গেলাসের ভিতরের ও বাহিরের গাত্রে তাপের পার্থক্যের জন্য প্রসারণ বিভিন্ন হয় এবং প্রসারণজনিত বলের উদ্ভবে গেলাস ফাটিয়া যায়। পাতলা গেলাস ব্যবহার করিলে এই অসুবিধা অনেকাংশে দূর হয়। পরীক্ষাগারের জন্য পরীক্ষা নল, বীকার ইত্যাদি পাইরেক্স (pyrex) কাচ দ্বারা নির্মাণ করা হয়। পাইরেক্স কাচের প্রসারণ-গুণাঙ্ক তুলনামূলকভাবে অনেক কম।

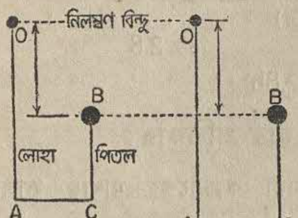
(iii) রেললাইনের মাঝে মাঝে ফাঁক রাখা হয়। চাকার সহিত ঘর্ষণে সারাদিনের বিভিন্ন সময়ে, শীতে-গ্রীষ্মে, লাইনের লোহার তাপমাত্রার পার্থক্য ঘটে এবং সংকোচন ও প্রসারণ হয়। মাঝে মাঝে ফাঁক না থাকিলে এই



চিত্র 2.9

সংকোচন ও প্রসারণে লাইন বাঁকিয়া যাইত। ফিস্‌প্লেটের সাহায্যে রেলের জোড়গুলি পরস্পর সংবদ্ধ রাখা হয় (চিত্র 2.9)।

(iv) দোলক ঘড়ি সাধারণতঃ ধাতব তার দ্বারা ঝুলানো থাকে। শীত-গ্রীষ্মে তাপমাত্রার পার্থক্যের জন্য দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হয়, ফলে ঘড়ি ফাস্ট বা স্লো চলে। এই অসুবিধা দূর করিবার জন্য সংশোধিত দোলক (Compensated Pendulum) ব্যবহার করা হয়। এই দোলক কার্যত পরস্পর-সংযুক্ত দুইটি ভিন্ন ধাতু-নির্মিত সমান্তরাল দণ্ড (OA এবং BC)। ক্ষুদ্রতর দণ্ডের মাথায় পিণ্ডটি (B) লাগান থাকে (চিত্র 2.10)। OA এবং BC-র দৈর্ঘ্য এমন রাখা হয় যাহাতে OA-র নিম্নপ্রসারণ, BC-র ঊর্ধ্বপ্রসারণের সমান হয়। ফলে যে-কোন তাপমাত্রায় কার্যকর দৈর্ঘ্য OB একই থাকে।

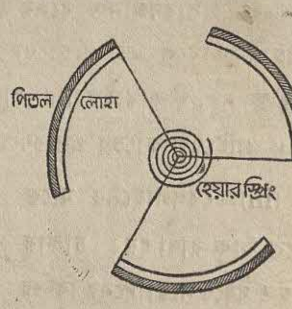


চিত্র 2.10

OA এবং BC দণ্ডদ্বয় যে ধাতু দ্বারা নির্মিত তাহাদের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্কদ্বয় যথাক্রমে α_1 এবং α_2 হইলে, t° উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য OA-র নিম্নপ্রসারণ$=OA.\alpha_2.t$ এবং BC-র ঊর্ধ্ব-প্রসারণ$=BC.\alpha_1.t$ সমান হইতে হইলে,

$\dfrac{OA}{BC}=\dfrac{\alpha_2}{\alpha_1}$ অর্থাৎ দণ্ড দুইটির দৈর্ঘ্যের অনুপাত উহাদের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্কের অনুপাতের বিপরীত হইবে। উদাহরণস্বরূপ, দীর্ঘতর বাহুটি লোহার হইলে ক্ষুদ্রতর বাহুটি পিতলের লইতে হইবে।

(v) হাতঘড়িতে ঝুলান দোলকের পরিবর্তে ভারসাম্য-চক্র (balance wheel) ব্যবহার করা হয় (চিত্র 2.11)। ঘড়ির দোলনকাল চক্রের ব্যাসার্ধের উপর নির্ভর করে। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে হেয়ার-স্প্রিং (hair-spring)-এর টান আলগা হইয়া যায়, ফলে ব্যাসার্ধ বাড়িয়া ঘড়ি স্লো হইয়া যায়। এই অসুবিধা দূর করিবার জন্য চক্রটি তিন টুকরা দ্বিধাতব পাত দ্বারা তৈয়ারী করা হয়। ধাতু দুইটি এমনভাবে নির্বাচন করা হয় যাহাতে তাপমাত্রার



চিত্র 2.11

বৃদ্ধিতে চক্রটি ভিতরের দিকে বাঁকিয়া ব্যাসার্ধ তথা দোলনকালকে অপরিবর্তিত রাখে।

উদাহরণ : (3) $25°C$ উষ্ণতায় একটি ইস্পাতের স্কেলে অংশাঙ্কন করা হইয়াছিল। $100°C$-এ এই স্কেল দ্বারা মাপিয়া একটি কাঠের দণ্ডের দৈর্ঘ্য 100 সে.মি. দেখা গেল। দণ্ডটির প্রকৃত দৈর্ঘ্য কত? [$\alpha_{Fe}=12\times10^{-6}/°C$]

উত্তর : $25°C$-এ স্কেলের যে অংশ 1 সে. মি. নির্দেশ করে, তাহা ভিন্ন তাপমাত্রায় ভিন্ন দৈর্ঘ্য নির্দেশ করে। $100°C$-এ 1 সে. মি. প্রসারিত হইয়া প্রকৃতপক্ষে $[1+12\times10^{-6}\times(100-25)]$ বা 1·009 সে.মি. হইবে। তাহা হইলে $100°C$-এ যাহা 100 সে.মি. বলিয়া প্রতীয়মান হইতেছে, তাহা আসলে $100\times1·0009=$ **100·09** সে. মি. হইবে। ইহাই দণ্ডটির প্রকৃত দৈর্ঘ্য।

(4) একটি ঘনকের $0°C$-এ প্রতিটি বাহুর দৈর্ঘ্য 100 সে. মি.। ঘনকটিকে $100°C$-এ তুলিলে প্রতিটি বাহুর দৈর্ঘ্য হয় 100·1 সে. মি.। ঘনকটির উপাদানের বিভিন্ন প্রসারণ গুণাঙ্ক বাহির কর। [C. U. 1949]

উত্তর : $100°C$ তাপমাত্রা পার্থক্যে দৈর্ঘ্য-প্রসারণ $=100·1-100=·1$ সে. মি.।

$$\therefore \text{ দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক, } \alpha=\frac{\text{দৈর্ঘ্য-প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}\times\text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

$$=\frac{·1}{100\times100}=\mathbf{10\times10^{-6}/°C}$$

$\therefore$ ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক $\beta=2\times10\times10^{-6}=\mathbf{20\times10^{-6}/°C}$

এবং আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক $\gamma=3\times10\times10^{-6}=\mathbf{30\times10^{-6}/°C}$

প্রশ্নাবলী

1. কয়েকটি সহজ পরীক্ষার দ্বারা কঠিন পদার্থের প্রসারণ দেখাও। বস্তুর প্রসারণ যে উহার উপাদানের উপর নির্ভর করে, তাহা কিভাবে দেখাইবে?

[Show the expansion of solids by a few simple experiments. How do you show that the expansion depends on the material of the body ?]

2. বস্তুর প্রসারণ ও সঙ্কোচনে যে প্রচণ্ড বলের উদ্ভব হয়, তাহা একটি পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ কর।

[Expansion and contraction of a body give rise to enormous force, prove it with the help of an experiment.]

3. কঠিন পদার্থের বিভিন্ন প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা দাও এবং উহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক বাহির কর। গুণাঙ্কগুলি কি (a) দৈর্ঘ্যের একক এবং (b) তাপমাত্রার স্কেলের উপর নির্ভর করে ?

[Define different co-efficients of expansion of solids and establish the relation among them. Do the co efficients depend on (a) Unit of length and (b) Scale of temperature ?]

4. কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক বাহির করিবার জন্য পুলিঞ্জারের পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[Describe Pullinger's method to determine the co-efficient of linear expansion of a solid.]

5. কঠিন পদার্থের প্রসারণের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখাও। প্রসারণ কোন কোন ক্ষেত্রে অসুবিধা সৃষ্টি করে। উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

[Give some practical examples of expansion of solids. Expansion sometimes causes inconvenience—explain with examples.]

6. সংশোধিত দোলকঘড়ি ও ভারসাম্যচক্রের কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া বল।

[Explain the principle of a compensated pendulum and balance-wheel.]

7. বৈজ্ঞানিক ব্যাখ্যা দাও :—

[Give the scientific explanation of the following :]

(a) মোটা কাচের গ্লাসে হঠাৎ গরম জল ঢালিলে গেলাস কাটিয়া যায়।

[A thick-walled glass breaks while hot water is poured in it]

(b) রেললাইনে ফাঁক রাখা হয়।

[Railway-lines are laid with gaps between rails.]

(c) রিভেটের সাহায্যে দুইটি ধাতব প্লেট দৃঢ়ভাবে আটকানো যায়।

[Two metal plates can be rigidly clamped with the help of rivets.]

(d) কাচদণ্ডের মাথায় প্ল্যাটিনাম জাতীয় তার ব্যবহার করা হয়।

[A platinum wire can be impregnated in a glass rod.]

(e) হাতঘড়ির ভারসাম্যচক্র দ্বিধাতব পাত ব্যবহার করা যায়।

[A bi-metallic balance wheel is used in a wrist watch.]

(f) পাহাড়ের গায়ে ফাটল ধরে।

[Cracks occur on the surface of mountains.]

(g) গরুর গাড়ির কাঠের চাকায় লোহার বেড় দৃঢ়ভাবে আটকানো যায়।

[Iron rings are rigidly fixed on the wheels of wooden carts.]

(h) ধাতুনির্মিত স্কেল ব্যবহার করিলে সর্বদা সঠিক পাঠ পাওয়া যায় না।

[A metallic scale does not give correct readings.]

(i) সংশোধিত দোলকে দুইটি ভিন্ন ধাতুর দণ্ড ব্যবহার করা হয়।

[Two different metallic rods are used in a compensated pendulum.]

8. 0°C তাপমাত্রায় রক্ষিত একটি আয়তকার তাম্রখণ্ডকে (8″ × 5″ × 1″) 800°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হইল। তাম্রখণ্ডটির আয়তন বৃদ্ধি নির্ণয় কর।

[তামার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক = $0{\cdot}16 \times 10^{-4}$/°C] [H. S. 1961]

[A block of Copper (8″ × 5″ × 1″) kept at 0°C is heated to 800°C. Find the increase in volume of the block.]

[Ans. 1·536 cubic inches]

9. প্রসারণের সুবিধার জন্য রেললাইনের মাঝে ফাঁক রাখা থাকে। 66′ (ফুট) দীর্ঘ ইস্পাতের লাইনের মাঝে 0·5 ইঞ্চি ফাঁক আছে এবং উহার তাপমাত্রা 10°C। কোন্ তাপমাত্রায় ফাঁকটি বুজিয়া যাইবে? [α steel = 11×10^{-6}/°C] [C. U. 1953]

[Railway lines are laid with gaps to allow for expansion. If the gap between steel lines 66 ft. long is 0·5 inch at 10°C, at what temperature will the lines touch each other ?]

[Ans. 67·4°C]

10. 100 সে. মি. ব্যাসার্ধের একটি গোলককে 0°C হইতে 100°C তাপমাত্রায় তোলা হইল। ইহাতে ইহার ব্যাসার্ধ 101 সে. মি. দেখা যাইলে গোলকটির উপাদানের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক কত? [C. U. 1939]

[A sphere of radius 100 cms. at 0°C is heated to 100°C and its radius is found to be 101 cms. What is the co-efficient of cubical expansion of the sphere ?]

[Ans. 3×10^{-4}/°C]

11. 0°C তাপমাত্রায় কোন ঘড়ির পিতলের দোলক সেকেণ্ডে স্পন্দিত করে। তাপমাত্রা 30°C হইলে, ঘড়ি দিনে কতখানি ফাস্ট বা স্লো চলিবে ?

[α পিতল = ·000018/°C]

[A clock, whose brass pendulum beats seconds, is correct at 0°C. How many seconds will it lose or gain per day, if the temperature is kept constant at 30°C ?]

[αbrass = ·000018/°C] [Ans. slow by 25 seconds nearly]

12. একটি পিতলের স্কেলের সাহায্যে 10°C তাপমাত্রায় একটি দস্তার দণ্ডের দৈর্ঘ্য মাপিয়া 1·0001 মিটার পাওয়া গেল। স্কেলটি 0°C তাপমাত্রায় ত্রুটিহীন হইলে 10°C তাপমাত্রায় এবং 0°C তাপমাত্রায় দণ্ডের প্রকৃত দৈর্ঘ্য কত হইবে ? [দেওয়া আছে, α দস্তা = 29×10^{-6}/°C এবং α পিতল = 19×10^{-6}/°C.]

[A zinc rod kept at 10°C is found to be 1·0001 metre, when measured by a brass scale. If the scale is correct at 0°C what will be the correct length of the zinc rod at 10°C and 0°C ? Given, αzn = 29×10^{-6}/°C and αbrass = 19×10^{-6}/°C.]

[Ans. 1·00029m ; 1m]

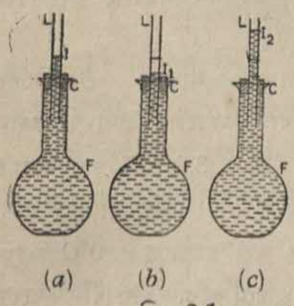
তৃতীয় অধ্যায়

তরল পদার্থের প্রসারণ (Expansion of liquids)

3.1. তরল পদার্থের প্রসারণের পরীক্ষা (Experiment on expansion of liquids) :

কঠিন পদার্থের মত তরল পদার্থও তাপের প্রয়োগে প্রসারিত হয়। তরল পদার্থের নিজস্ব কোন আকার না থাকায় কেবলমাত্র আয়তন প্রসারণই সম্ভব। তরল পদার্থ সর্বদা কোন-না-কোন পাত্রে রাখিতে হয় এবং তরল পাত্রের আকার ধারণ করে। সুতরাং তাপপ্রয়োগে তরলের প্রসারণ নির্ণয় করিতে হইলে ধারক-পাত্রেরও প্রসারণ বিচার করিতে হয়। নীচের পরীক্ষায় বিষয়টি স্পষ্ট হইবে।

রঙীন জলভর্তি একটি কাচের ফ্লাস্ক (F) লওয়া হইল (চিত্র 3.1)। ইহার মুখে একটি রবারের ছিপি (C) লাগান আছে। ছিপির ছিদ্র দিয়া একটি সরু কাচনল (L) ফ্লাস্কের ভিতর ঢুকান আছে। কাচনলের ভিতর I দাগ পর্যন্ত জল উঠিয়াছে (চিত্র 3.1a)। এবার একটি বড় বীকারে গরম জল লইয়া ফ্লাস্কটিকে জলের ভিতর বসান হইল। অল্পক্ষণের মধ্যেই দেখা যাইবে, কাচনলের মধ্যে জল I দাগ হইতে I_1 দাগে নামিয়া আসিয়াছে (চিত্র 3.1b)।



চিত্র 3.1

কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিলে কাচনলের মধ্যে জলকে ধীরে ধীরে উঠিতে দেখা যাইবে এবং অবশেষে ফ্লাস্কের রঙীন জল যখন বীকারের জলের তাপমাত্রায় পৌছিবে তখন কাচনলের জল I_2 দাগে স্থির হইবে (চিত্র 3.1c)।

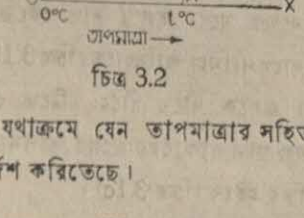
তাপে প্রসারণ তলের সাধারণ ধর্ম। সুতরাং তাপপ্রয়োগের প্রাথমিক পর্যায়ে তরলের তলের I দাগ হইতে I_1 দাগে নামিয়া আসার কারণ কি? একটু চিন্তা করিলেই বুঝা যাইবে, গরম জলের সংস্পর্শে ফ্লাস্কটি হঠাৎ উত্তপ্ত হইয়া প্রসারিত হইয়াছে, তখনও তাপ ভিতরের রঙীন জলে বিশেষ পৌছায় নাই। পাত্রের আয়তন প্রসারণের ফলে জলতল নামিয়া আসিয়াছে। পরে ফ্লাস্কের জল উত্তপ্ত হইয়া প্রসারিত হইয়াছে এবং I_1 দাগ ছাড়িয়া উপরে I_2

দাগে পৌঁছিয়াছে। দেখা যাইতেছে, একই তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে তরলের প্রসারণ পাত্রের প্রসারণ অপেক্ষা বেশী হইয়াছে।

তরল ও পাত্রের প্রসারণের পর্যায়গুলি লক্ষ্য না করিয়া কেবলমাত্র তরলের চূড়ান্ত প্রসারণ বিচার করিলে মনে হইবে তরল যেন I এবং I_2 দাগের মধ্যে কাচনলের যে আয়তন, সেই আয়তন পরিমাণ প্রসারিত হইয়াছে। চোখে দেখিয়া এই যে আয়তন প্রসারণ পাওয়া গেল, তাহাকে **আপাত প্রসারণ** (apparent expansion) বলে। বাস্তবিকপক্ষে, তরলটি I_1 এবং I_2 দাগের মধ্যে নলের যে আয়তন, সেই আয়তন পরিমাণ প্রসারিত হইয়াছে। ইহাকে তরলের **প্রকৃত প্রসারণ** (real expansion) বলে। I হইতে I_1 দাগের মধ্যবর্তী আয়তন **পাত্রের প্রসারণ**। নলটি সমপ্রস্থচ্ছেদযুক্ত হইলে আমরা আয়তনকে দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক ধরিতে পারি। সুতরাং,

$I_1I_2 = I_1I + II_2$ হইতে লিখিতে পারি,

তরলের প্রকৃত প্রসারণ = পাত্রের প্রসারণ + তরলের আপাত প্রসারণ।



চিত্র 3.2

তাপমাত্রা-আয়তন লেখচিত্রের সাহায্যেও তরলের প্রসারণ দেখান যায়। চিত্রে (3.2) OX অক্ষ বরাবর তাপমাত্রা ও OY অক্ষ বরাবর আয়তন সূচিত করা হইয়াছে। 0°C তাপমাত্রায়, মনে করি, পরীক্ষাধীন তরলের আয়তন OB এবং BE ও BF রেখাদ্বয় যথাক্রমে যেন তাপমাত্রার সহিত পাত্রের এবং তরলের আয়তনের সম্পর্ক নির্দেশ করিতেছে।

সুতরাং, $t°C$ ($=OA$) তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে পাত্রের আয়তন AE এবং তরলের আয়তন AF. B বিন্দুর ভিতর দিয়া অংকিত অনুভূমিক BD রেখা AF-কে D বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে।

$\therefore$ DE = পাত্রের প্রসারণ, DF = তরলের প্রকৃত প্রসারণ এবং EF = তরলের আপাত প্রসারণ।

লেখচিত্র হইতে দেখা যাইতেছে, $DF = DE + EF$.

3.2. তরলের প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficients of expansion of liquids) **:**

(i) **কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তরল পদার্থের O° তাপমাত্রায় যে আয়তন, 1° তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে উহার প্রতি একক আয়তনে যে আপাত-প্রসারণ, তাহাকেই ঐ তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক** (Co-efficient of apparent expansion) **বলে।**

ধরা যাক, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তরলের 0° তাপমাত্রায় আয়তন V_0 এবং $t°$ তাপমাত্রায় আপাত-আয়তন V_t, সুতরাং,

$t°$ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে আয়তনের আপাত-প্রসারণ $= V_t - V_0$

∴ প্রতি একক আয়তনে এবং প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে প্রসারণ,

$\gamma_a = \dfrac{V_t - V_0}{V_0 t}$, γ_a-কে তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক বলা হয়।

সুতরাং, $V_t - V_0 = V_0 \gamma_a t$

বা, $V_t = V_0\{1 + \gamma_a t\}$ ⋯ (1)

∴ $V_0 \gamma_a t$ উক্ত তরলের আপাত-প্রসারণ।

(ii) **কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তরল পদার্থের 0° তাপমাত্রায় যে আয়তন, 1° তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে উহার প্রতি একক আয়তনে যে প্রকৃত-প্রসারণ, তাহাকেই ঐ তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক** (Co-efficient of real expansion) **বলে।**

আগের মতই ধরা যাক, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তরলের 0° তাপমাত্রায় আয়তন V_0 এবং $t°$ তাপমাত্রায় প্রকৃত আয়তন V_t, সুতরাং,

$t°$ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে আয়তনের প্রকৃত-প্রসারণ $= V_t - V_0$

∴ প্রতি একক আয়তনে এবং প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে প্রকৃত প্রসারণ,

$\gamma_r = \dfrac{V_t - V_0}{V_0 t}$, γ_r কে তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক বলা হয়।

সুতরাং, $V_t - V_0 = V_0 \gamma_r t$

বা, $V_t = V_0\{1 + \gamma_r t\}$ ⋯⋯ (2)

∴ $V_0 \gamma_r t$ উক্ত তরলের ক্ষেত্রে প্রকৃত প্রসারণের মান।

মনে রাখিতে হইবে, তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক (γ_a) পাত্রের উপাদানের উপর নির্ভরশীল অর্থাৎ তরলের পাত্রবিশেষে ইহার মান পরিবর্তিত

হয়। কিন্তু প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক পাত্রের উপাদানের উপর নির্ভর করে না ইহা নির্দিষ্ট তরলের ক্ষেত্রে ধ্রুবক। কিন্তু উভয় প্রকার গুণাঙ্কই তাপমাত্রার স্কেলের উপর নির্ভরশীল। সেলসিয়াসে γ_a বা γ_r-এর মান ফারেনহাইটের মানগুলির $\frac{9}{5}$ গুণ হইবে।

আরও, প্রসারণ গুণাঙ্ক বাহির করিবার সময় তরলের $0°$-তে আয়তন বিচার করা হইয়াছে। তরলের আয়তন প্রসারণ খুব কম বলিয়া প্রাথমিক তাপমাত্রা সর্বদা $0°$-তে না রাখিয়া অন্য কোন মানে রাখিলে গুণাঙ্কের বিশেষ কিছু হেরফের হয় না। এই হিসাবে, কোন তরলের $t_1°C$-এ প্রকৃত আয়তন V_1 এবং $t_2°C$-এ প্রকৃত আয়তন V_2 হইলে, (2) নং সমীকরণের মত লেখা যায়, $V_2 = V_1\{1+\gamma_r(t_2-t_1)\}$ ······(3)

(iii) ধরা যাক, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তরলের $0°C$ তাপমাত্রায় আয়তন V_0 এবং ইহাকে $t°C$ তাপমাত্রায় উন্নীত করা হইয়াছে।

সুতরাং উক্ত তাপমাত্রায় তরলের আপাত প্রসারণ $= V_0\gamma_a t$ [(1) নং সমীকরণ হইতে]

এবং ,, ,, প্রকৃত প্রসারণ $= V_0\gamma_r t$ [(2) নং সমীকরণ হইতে]

পাত্রের উপাদানের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক γ হইলে, $t°C$ তাপমাত্রায় পাত্রের আয়তন প্রসারণ $= V_0\gamma t$

যেহেতু, প্রকৃত প্রসারণ = আপাত প্রসারণ + পাত্রের প্রসারণ,

$\therefore\ V_0\gamma_r t = V_0\gamma_a t + V_0\gamma t$

বা, $\gamma_r = \gamma_a + \gamma$ ······(4)

অর্থাৎ, **তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্ক = তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক + পাত্রের উপাদানের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক,**

ইহাই প্রসারণ গুণাঙ্কগুলির পারস্পরিক সম্পর্ক।

3.3. তাপমাত্রার সহিত তরলের ঘনত্বের পরিবর্তন (Varition of density of a liquid with temperature) :

ধরা যাক, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তরলের ভর 'm' এবং $0°$ তাপমাত্রায় উহার ঘনত্ব এবং আয়তন যথাক্রমে ρ_0 এবং V_0, উহাকে $t°$ তাপমাত্রায় আনিলে উহার ঘনত্ব এবং আয়তন যেন যথাক্রমে ρ_t এবং V_t হয়। যেহেতু তরলটির ভর অপরিবর্তিত আছে, অতএব ভর $m = V_0\rho_0 = V_t\rho_t$।

$$\therefore \quad \frac{\rho_0}{\rho_t}=\frac{V_t}{V_0}=\frac{V_0\{1+\gamma_r t\}}{V_0}=1+\gamma_r t$$

$$\therefore \quad \rho_0=\rho_t(1+\gamma_r t)\cdots\cdots\cdots(5)$$

ইহাই তাপমাত্রার সহিত তরলের ঘনত্বের সম্পর্ক। 0° না ধরিয়াও অন্য যে-কোন দুই তাপমাত্রার ক্ষেত্রে এই সম্পর্ক লেখা যায়। যেমন, t_1° এবং t_2°-তে কোন তরলের ঘনত্ব যথাক্রমে ρ_1 এবং ρ_2 হইলে ($t_2>t_1$),

$$\rho_1=\rho_2(1+\gamma_r t)\cdots\cdots\cdots(5a)$$

উদাহরণ: (1) 0°C-এ পারদের ঘনত্ব 13·6 গ্র্যাম/সি. সি. এবং 100°C-এ ঘনত্ব 13·35 গ্র্যাম/সি. সি.। পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক বাহির কর।

উত্তর: আমরা জানি, $\rho_0=\rho_t(1+\gamma_r t)$,

ρ_0=0°C-এ ঘনত্ব, ρ_t=t°C-এ ঘনত্ব এবং γ_r= তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক।

এখানে $\rho_0=13·6$, $\rho_t=13·35$, $t=100$

$\therefore \quad 13·6=13·35\ (1+\gamma_r\times 100)$

বা, $13·35\times\gamma_r\times 100=13·6-13·35=0·25$

বা, $\gamma_r=\dfrac{0·25}{13·35\times 100}=\mathbf{1·87\times 10^{-4}/°C}$

(2) 20°C উষ্ণতায় কোন কাচের ফ্লাস্কের আয়তন 1 লিটার। যদি ইহার উষ্ণতা 40°C করা যায়, তাহা হইলে দেখাও যে, ইহার আয়তন প্রায় অর্ধ মিলিলিটার বাড়িয়া যাইবে। (কাচের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক=8×10^{-6}/°C)

[H. S. 1964]

উত্তর: কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক, γ=3×দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক

$=3\times 8\times 10^{-6}/°C$

$=24\times 10^{-6}/°C$

∴ আয়তন প্রসারণ=প্রাথমিক আয়তন×আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক ×তাপমাত্রা বৃদ্ধি

$=1\times 24\times 10^{-6}\times(40-20)$,

$=480\times 10^{-6}$ লিটার

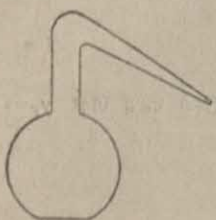
$=480\times 10^{-6}\times 10^3$ মিলিলিটার

$=·48\simeq\frac{1}{2}$ **মিলিলিটার** (প্রায়)।

3.4. তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the co-efficient of apparent expansion of liquid) :

ভার থার্মোমিটার পদ্ধতি (Weight thermometer method) : ভার থার্মোমিটার বকযন্ত্রের মত বাঁকান নলযুক্ত কাচের বাল্ব। ইহাকে প্রথমে সাবধানে পরিষ্কার করিয়া পরে শুকাইয়া লওয়া হইল। খালি অবস্থায় ইহাকে ওজন করা হইল। মনে করা যাক, এই ওজন W গ্র্যাম।

বাল্বটির সরু মুখটি এবার পরীক্ষাধীন তরলের মধ্যে ডুবাইয়া বাল্বটিকে পর্যায়ক্রমে গরম ও ঠাণ্ডা করিলে উহা তরল পদার্থে পূর্ণ হইয়া যাইবে। সরু মুখটিকে তরল পদার্থে ডুবান অবস্থাতেই বাল্বটিকে ঘরের তাপমাত্রায় কিছু পরিমাণ জলের মধ্যে ডুবাইয়া রাখা হইল এবং থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের তাপমাত্রা (মনে করি, $t_1°C$,) মাপা হইল। বাল্বটি জলের তাপমাত্রায় স্থির হইলে, উহাকে বাহিরে আনিয়া বাহিরের গাত্র ভাল করিয়া মুছিয়া আবার ওজন করা হইল। মনে করি, এই ওজন W_1 গ্র্যাম। পুনরায় উহাকে জলের মধ্যে রাখিয়া জলটিকে গরম করা হইল। বাল্বের অভ্যন্তরস্থ তরল আয়তনে বৃদ্ধি পাইবে এবং কিছু তরল নল দিয়া বাহিরে আসিবে। জলকে বেশ কিছুক্ষণ নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ($t_2°C$) স্থির রাখিলে যখন আর বাল্ব হইতে তরল বাহিরে আসিবে না, তখন বাল্বটিকে গরম জল হইতে বাহির করিয়া আনা হইল। বাল্ব ধীরে ধীরে ঠাণ্ডা হইয়া যখন ঘরের তাপমাত্রায় ($t_1°C$) আসিবে, তখন পুনরায় উহাকে ওজন করা হইল। ধরা যাক, এই ওজন W_2 গ্র্যাম।



চিত্র 3.4

গণনা : $t_1°C$ তাপমাত্রায় থার্মোমিটার পূর্ণ তরলের ভর $= W_1 - W$

$= m_1$ গ্র্যাম (মনে করি)

আবার $t_2°C$ „ „ „ $= W_2 - W$

$= m_2$ গ্র্যাম (মনে করি)

কাচপাত্রের আয়তন বৃদ্ধিকে উপেক্ষা করিলে বলা যাইতে পারে যে $t_1°C$ তাপমাত্রায় m_1 গ্র্যাম তরলের আয়তন $= t_2°C$ তাপমাত্রায় m_2 গ্র্যাম তরলের আয়তন।

$t_1°C$ তাপমাত্রায় তরলের ঘনত্ব ρ হইলে, ঐ তাপমাত্রায় m_1 গ্র্যাম তরলের আয়তন $= \dfrac{m_1}{\rho}$

$$\therefore \ \frac{m_1}{\rho}=t_2\,^\circ C \text{ তাপমাত্রায় } m_2 \text{ গ্র্যাম তরলের আয়তন}$$

আবার $t_1\,^\circ C$ তাপমাত্রায় m_2 গ্র্যাম তরলের আয়তন$=\frac{m_2}{\rho}$

সুতরাং, একথা বলা যায়, তরলের তাপমাত্রা $t_1\,^\circ C$ হইতে $t_2\,^\circ C$ বৃদ্ধি করিলে আয়তন $\frac{m_2}{\rho}$ হইতে আপাতভাবে বৃদ্ধি পাইয়া $\frac{m_1}{\rho}$ হয়।

অর্থাৎ তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক, $\gamma_a=\dfrac{\frac{m_1}{\rho}-\frac{m_2}{\rho}}{\frac{m_2}{\rho}(t_2-t_1)}=\dfrac{m_1-m_2}{m_2(t_2-t_1)}$ ....(6)

$$=\frac{\text{বহিষ্কৃত তরলের ভর}}{\text{অবশিষ্ট তরল} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$$

[এই পদ্ধতিতে আয়তনের পরিবর্তে তরলের ভার নির্ণয় করা হয় বলিয়া, যন্ত্রকে ভার থার্মোমিটার বলা হয়। উপরন্তু, বহিষ্কৃত তরলের ভর মাপিলে এবং তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক জানা থাকিলে, ইহার সাহায্যে কোন অজ্ঞাত তাপমাত্রা বাহির করা যায়। এজন্য ইহাকে থার্মোমিটার বলা হয়।]

ভার থার্মোমিটারের সাহায্যে তরলের প্রকৃত-প্রসারণ গুণাঙ্কও বাহির করা সম্ভব। মনে করি, $t_2-t_1=t$ এবং t_1° এবং t_2° তাপমাত্রায় পাত্রের আয়তন যথাক্রমে, V_1 এবং V_2 হইলে,

$V_2=V_1\{1+\gamma t\}$, $\gamma=$পাত্রের উপাদানের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক। আবার, উক্ত তাপমাত্রাদ্বয়ে তরলের ঘনত্ব যথাক্রমে ρ_1 এবং ρ_2 হইলে, $\rho_1=\rho_2\{1+\gamma_r t\}$ [সমীকরণ (5a) দ্রষ্টব্য]

$\gamma_r=$তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক।

$$\therefore \ \frac{m_1}{m_2}=\frac{V_1\rho_1}{V_2\rho_2}=\frac{V_1\rho_2\{1+\gamma_r t\}}{V_1\rho_2\{1+\gamma t\}}=\frac{1+\gamma_r.t}{1+\gamma.t}$$

বা, $m_2+m_2\gamma_r t=m_1+m_1\gamma t$

বা, $m_2\gamma_r=\dfrac{m_1-m_2}{t}+m_1\gamma$

বা, $\gamma_r=\dfrac{m_1-m_2}{m_2 t}+\dfrac{m_1}{m_2}\gamma$ ....(7)

আপাত প্রসারণ গুণাঙ্কের ক্ষেত্রে, γ-কে উপেক্ষা করা হয়, তখন

$$\gamma_a=\frac{m_1-m_2}{m_2 t}$$

উদাহরণ : (3) একটি ভার থার্মোমিটারে $10°C$ তাপমাত্রায় 100 গ্র্যাম পারদ আছে। উহাকে গরম তেলের পাত্রে ডুবাইলে 1·89 গ্র্যাম পারদ বাহির হইয়া যায়। কাচপাত্রে পারদের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক 0·000155/°C হইলে, তেলের তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

উত্তর : বহিষ্কৃত পারদের ভর=1·89 গ্র্যাম

∴ অবশিষ্ট " " =100 − 1·89=98·11 গ্র্যাম

তেলের তাপমাত্রা $t°C$ ধরিলে তাপমাত্রা বৃদ্ধি=$(t-10)$

$$\therefore \quad 0{\cdot}000155=\frac{1{\cdot}89}{98{\cdot}11\times(t-10)}$$

$$\text{বা, } t=\frac{1{\cdot}89}{98{\cdot}11\times{\cdot}000115}+10$$

বা, $t=$**134·3°C** প্রায়।

(4) $0°C$ তাপমাত্রায় একটি ভার থার্মোমিটারে 24 গ্র্যাম পারদ থাকে। উহাকে $100°C$ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিলে, 23·622 গ্র্যাম পারদ ধরে। পাত্রের উপাদানের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক বাহির কর। (পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক=0·00018) [C. U. 1946]

উত্তর : পারদের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক, $\gamma_a=\dfrac{\text{বহিষ্কৃত পারদের ভর}}{\text{অবশিষ্ট পারদ}\times\text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি}}$

$$=\frac{24-23{\cdot}622}{23{\cdot}622\times100}=\frac{{\cdot}378}{23{\cdot}622\times100}={\cdot}000173/°C \text{ (প্রায়)}$$

∴ পাত্রের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক=পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক—আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক=0·00018 − ·000173

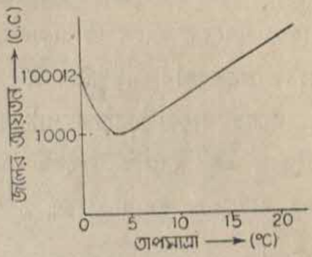
=**0·000007/°C**

3.5. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ (Anomalous expansion of water) :

আমরা জানি যে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে সকল পদার্থের আয়তন বৃদ্ধি পায় এবং হ্রাসে আয়তন সংকুচিত হয়। কিন্তু, জলের ক্ষেত্রে একটি বিশেষ তাপমাত্রার পাল্লায় এই নিয়মের ব্যতিক্রম দেখা যায়। কিছু পরিমাণ জলকে $0°C$ তাপমাত্রায় আনিয়া ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করিলে দেখা যাইবে, আয়তন বাড়িয়া যাওয়ার পরিবর্তে কমিয়া যাইতেছে বা ঘণত্বের হিসাবে ঘণত্ব কমিয়া যাওয়ার পরিবর্তে বাড়িয়া যাইতেছে। **$4°C$ তাপমাত্রায়**

জলের আয়তন সর্বাপেক্ষা কম বা ঘণত্ব সর্বাধিক (চিত্র 3.4) হইবে।

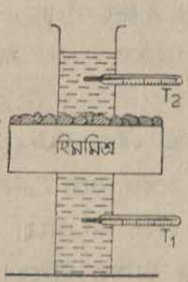
4°C-র পর তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে জল আয়তন প্রসারণের সাধারণ নিয়ম মানিয়া চলে। উচ্চ তাপমাত্রার জল লইয়া ধীরে ধীরে তাপমাত্রা কমাইয়া পরীক্ষা করিলেও 4°C হইতে 0°C তাপমাত্রার ক্ষেত্রে জলের প্রসারণ বা সংকোচনের নিয়মের ব্যতিক্রম ঘটিতে দেখা যায়। ইহাকে **জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ** বলে।



চিত্র 3.4

3.7. হোপের পরীক্ষা (Hope's experiment) :

4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব যে সর্বাধিক বা একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ জলের আয়তন যে সর্বাপেক্ষা কম, তাহা দেখাইবার জন্য বিজ্ঞানী হোপ এই পরীক্ষাটি করেন। জলভর্তি একটি লম্বা কাচের চোঙের মাঝের অংশকে আর একটি স্বল্প দৈর্ঘ্যের চোঙ ঘিরিয়া আছে (চিত্র 3.5)।



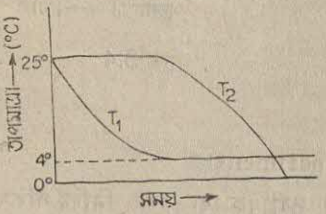
চিত্র 3.5

জলভর্তি চোঙের নীচের এবং উপরের অংশে দুইটি থার্মোমিটার (T_1 এবং T_2) লাগান আছে। ইহাদের দ্বারা জলের ঐ অংশের তাপমাত্রা পাওয়া যাইবে। চোঙের জলের তাপমাত্রা কমাইবার জন্য বাহিরের চোঙে বরফ ও লবণের হিমমিশ্রণ (Freezing mixture) রাখা আছে। এই মিশ্রণের তাপমাত্রা প্রায় −20°C।

মনে করি, জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা 25°C, সুতরাং T_1 এবং T_2 থার্মোমিটার দুইটি পরীক্ষার শুরুতে এই প্রাথমিক পাঠ দিবে। এবার থার্মোমিটার দুইটি লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, T_2 থার্মোমিটারের পাঠের কোন পরিবর্তন হইতেছে না, কিন্তু T_1 থার্মোমিটারে পাঠ দ্রুত নামিয়া আসিতেছে। ইহার কারণ, হিমমিশ্রের সংস্পর্শে চোঙের মাঝের অংশের জল ঠাণ্ডা হইতেছে এবং ভারী হইয়া নীচের দিকে নামিতেছে। নীচের অংশের অপেক্ষাকৃত গরম জল উপরে উঠিতেছে। এই জল হিমমিশ্রের সংস্পর্শে আসিয়া ঠাণ্ডা হইবে এবং আয়তনে সংকুচিত হইয়া নীচে নামিবে।

ফলে চোঙের নীচের অংশের জলের মধ্যে একটি পরিচলন স্রোত উৎপন্ন হইবে। ইহাতে নীচের থার্মোমিটারের পাঠ এখন কমিতে থাকিবে। কিন্তু চোঙের উপরের অংশে এই পরিচলন স্রোত না থাকায়, উপরের থার্মোমিটারের পাঠের কোন তারতম্য ঘটিবে না।

নীচের থার্মোমিটারের পাঠ যখন 4°C দেখা যাইবে, তখন পাঠ স্থির হইবে। এই অবস্থায় উপরের থার্মোমিটারটির (T_2) পাঠ দ্রুত কমিতে দেখা যাইবে। ইহার কারণ, চোঙের মাঝের অংশের জলের তাপমাত্রা যখন 4°C-এর নীচে নামে তখন জলের আয়তন কমিবার পরিবর্তে বাড়িয়া যায়, ফলে হাল্কা হইয়া উপরের দিকে উঠিয়া যায়, নীচের ভারী জলকে অপসারিত করিয়া নীচে নামিতে পারে না। ইহাতে নীচের থার্মোমিটারের পাঠ স্থির থাকে, কিন্তু উপরের থার্মোমিটার হঠাৎ খুব ঠাণ্ডা জলের সংস্পর্শে আসায় পারদ দ্রুত নামিয়া আসে। সময়-তাপমাত্রা লেখচিত্রে (চিত্র 3.6) দুই থার্মোমিটারের পাঠগুলি দেখান হইয়াছে। 4°C হইতে 0°C-এর মধ্যে চোঙের উপরের অংশে পরিচলন স্রোত অব্যাহত থাকে, ফলে T_2-র পাঠ ক্রমশঃ 0°C-তে নামিয়া আসে। ইহার পর ঠাণ্ডা হইলে জল জমিয়া বরফে পরিণত হইবে এবং হাল্কা বলিয়া জলের উপরে ভাসিয়া উঠিবে। T_2 থার্মোমিটারটি সর্বাপেক্ষা ঘন জলের সংস্পর্শে থাকিবে বলিয়া, উহার পাঠই (4°C) ঐ জলের তাপমাত্রা নির্দেশ করিবে। সুতরাং, হোপের পরীক্ষা হইতে দেখা যাইতেছে যে, 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘণত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী।

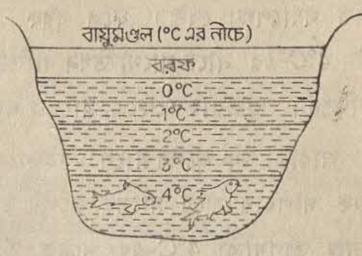


চিত্র 3.6

3.8. জলজ প্রাণীর ক্ষেত্রে জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের উপযোগিতা (Usefulness of anomalous expansion of water on marine life) : জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের প্রাকৃতিক উপযোগিতা খুব গুরুত্বপূর্ণ। 0°C হইতে 4°C-এর মধ্যে জলের প্রসারণ-সংকোচনের সাধারণ নিয়মের ব্যতিক্রম শীতপ্রধান দেশে জলজ প্রাণীকে বাঁচিয়া থাকিতে সাহায্য করে।

মেরু অঞ্চলে এবং অন্যান্য শীতের দেশে যখন বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা 0°C-এর নীচে নামিয়া আসে তখন সমুদ্র, নদী, হ্রদ ইত্যাদি জলাশয়ের জল বাতাসের সংস্পর্শে ঠাণ্ডা হয়। জলের তাপমাত্রা যখন 4°C হয়, তখন সর্বাপেক্ষা ভারী

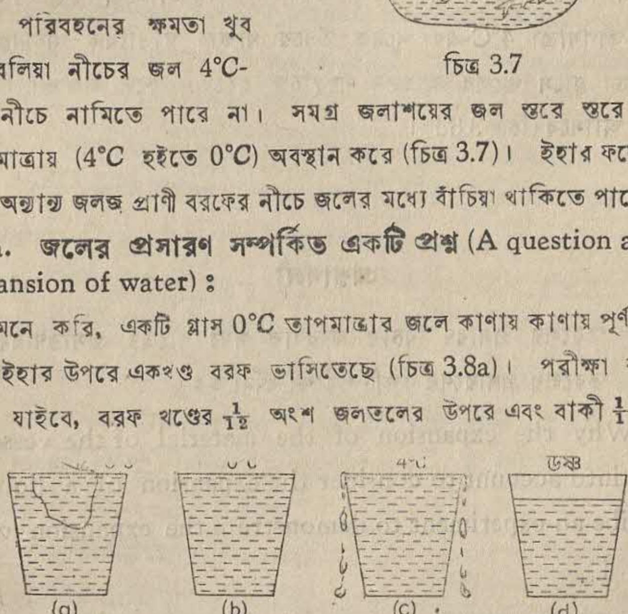
জল নীচের দিকে চলিয়া যায় এবং সেখানে অবস্থান করে। উপরিভাগের জলের তাপমাত্রা আরও নীচে নামিলে জল অপেক্ষাকৃত হাল্কা হয়, ফলে নীচে নামিতে পারে না। এইভাবে জলের তাপমাত্রা কমিতে কমিতে 0°C হইলে জল জমিয়া বরফ হইতে শুরু করে এবং বরফ উপরে ভাসিতে থাকে। বরফের তাপ পরিবহনের ক্ষমতা খুব কম বলিয়া নীচের জল 4°C-এর নীচে নামিতে পারে না। সমগ্র জলাশয়ের জল স্তরে স্তরে বিভিন্ন তাপমাত্রায় (4°C হইতে 0°C) অবস্থান করে (চিত্র 3.7)। ইহার ফলে মাছ এবং অন্যান্য জলজ প্রাণী বরফের নীচে জলের মধ্যে বাঁচিয়া থাকিতে পারে।



চিত্র 3.7

3.8a. জলের প্রসারণ সম্পর্কিত একটি প্রশ্ন (A question about expansion of water) :

মনে করি, একটি গ্লাস 0°C তাপমাত্রার জলে কাণায় কাণায় পূর্ণ আছে এবং ইহার উপরে একখণ্ড বরফ ভাসিতেছে (চিত্র 3.8a)। পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, বরফ খণ্ডের $\frac{1}{12}$ অংশ জলতলের উপরে এবং বাকী $\frac{11}{12}$ অংশ



চিত্র 3.8

জলের ভিতরে রহিয়াছে। ইহার কারণ, 0°C তাপমাত্রায় 11*c.c.* জল জমিয়া 12*c.c.* বরফে পরিণত হয়। অর্থাৎ বরফের ঘনত্ব জলের ঘনত্বের $\frac{11}{12}$ ভাগ। এখন প্রশ্ন হইতেছে, ঐ তাপমাত্রায় যখন বরফখণ্ড গলিয়া জল হইবে, তখন গ্লাসের জল উপচাইয়া পড়িবে কি না।

বরফ জলের যে আয়তন অপসারিত করিয়াছে বরফ গলিবার পর যে জল পাওয়া যাইবে তাহার আয়তন ও বরফের নিমজ্জিত অংশের আয়তনের সমান, ফলে জল উপচাইয়া পড়িবে না, জলতল যেখানে ছিল সেখানেই থাকিবে (চিত্র 3.8b)। বরফের যে অংশ জলের উপরে ছিল, বরফ জলে পরিণত হওয়ায় আয়তন সেই পরিমাণ সংকুচিত হইয়াছে।

এখন, গ্লাসের জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা 4°C হইলে, বরফ গলিবার পর জলতল কোথায় দাঁড়াইবে ? আমরা জানি, 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী। ফলে বরফ গলিবার পরে সমগ্র জলের তাপমাত্রা যখন 4°C-এর নীচে নামে, তখন ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ফলে জল আয়তনে বাড়িবে। সুতরাং এক্ষেত্রে, গ্লাসের জল উপচাইয়া পড়িবে (চিত্র 3.8c)।

আবার, উষ্ণ জলের গ্লাসে একইভাবে বরফ ভাসাইলে কি হইবে ? এক্ষেত্রে বরফ গলিবার পরে গ্লাসের জলের তাপমাত্রা কিছু নামিবে, কিন্তু তা-সত্ত্বেও চূড়ান্ত তাপমাত্রা 4°C-এর অনেক উপরে থাকায় স্বাভাবিক নিয়মানুযায়ী তাপমাত্রা হ্রাসে জলের আয়তন সংকুচিত হইবে। ফলে জলতল কিছুটা নামিয়া আসিবে (চিত্র 3.8d)।

প্রশ্নাবলী

1. তরলের প্রসারণ বিচার করিবার সময় পাত্রের প্রসারণ ধরা হয় কেন ? তরলের প্রসারণের একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

[Why the expansion of the material of the vessel is taken into account to consider the expansion of a liquid ? Describe an experiment to demonstrate the expansion of a liquid.]

2. তরলের আপাত প্রসারণ ও প্রকৃত প্রসারণ বলিতে কি বুঝ ? উভয় প্রকার প্রসারণ গুণাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক কি ?

[What do you understand by apparent and real expansions of a liquid ? What is the relation between the two co-efficients of expansion ?]

3. তাপমাত্রার সহিত ঘনত্ব কিভাবে পরিবর্তিত হয় ? তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক বাহির করিবার জন্য ভার থার্মোমিটার পদ্ধতি বর্ণনা কর। ইহাকে থার্মোমিটার বলা হয় কেন ?

[How does the density of a liquid vary with temperature ? Describe the weight thermometer method to deter-

mine the apparent expansion of a liquid. Why is it called "Weight Thermometer" ?]

4. জলের ব্যতিক্রান্ত-প্রসারণ কি? হোপের পদ্ধতিতে দেখাও যে, 4°C-এ জলের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী। প্রকৃতিতে জলের ব্যতিক্রান্ত-প্রসারণের উপযোগিতা বল।

[What is anomalous expansion of water ? Show by Hope's method that water attains maximum density at 4°C. State the usefulness of anomalous expansion of water in nature.]

5. একটি বিকারে একখণ্ড বরফ লইয়া জল ঢালা হইল, যতক্ষণ না বীকার কাণায় কাণায় জল-ভর্তি হয়। বরফ সম্পূর্ণ গলিয়া গেলে বীকারের জলের কি পরিবর্তন হইবে, যদি (i) 0°C-এর জল লওয়া হয়, (ii) 4°C-র জল লওয়া হয়, (iii) উত্তপ্ত জল লওয়া হয়। [H.S. 1971]

[A piece of ice is taken in a beaker and water is poured in the beaker till it is at the point of overflowing. When the whole of ice melts, what will be the change in the water-level of the beaker when the water taken is (i) at 0°C, (ii) at 4°C, and (iii) hot.]

6. নিম্নলিখিত ঘটনাগুলির ব্যাখ্যা কর :

(a) জলের উপরে বরফ ভাসে।

(b) জমিয়া যাওয়া হ্রদে মাছ বাঁচিয়া থাকে।

[Explain the following :

(a) Ice floats on water.

(b) Fish can live in a frozen lake ?]

7. 20°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব 0·998 গ্রাম/সি.সি. এবং 40°C তাপমাত্রায় ঘনত্ব 0·992। এই দুই তাপমাত্রার মধ্যে জলের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক বাহির কর।

[The density of water at 20°C is 0·998 gm/c.c. and at 40°C it is 0·992. Find the co-efficient of cubical expansion of water between the two temperatures.] [Ans. 0·0003/°C]

8. একটি ভার থার্মোমিটারে 0°C-এ পারদের ভর 400 গ্র্যাম। উহাকে 90°C-এ আনিলে কত পারদ বহিষ্কৃত হইবে? কাচপাত্রে পারদের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক $\frac{1}{6500}$। [C. U. 1930]

[What mass of mercury will overflow from a weight thermometer which contains 400 gms of mercury at 0°C, when the temperature is raised to 90°C? Co-efficient of apparent expansion of mercury in glass is $\frac{1}{6500}$]

[Ans. 5·46 gm]

9. একটি কাচের ফ্লাস্কের আয়তন 630 সি.সি.। উহার মধ্যে কত পারদ ভর্তি করিলে ফ্লাস্কের বাকী অংশের আয়তন তাপমাত্রার পরিবর্তনে অপরিবর্তিত থাকিবে? পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক = 0·00018/°C এবং কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক = 0·000025/°C।

[A glass flask has a volume of 630 c.c. How much mercury should be introduced in the flask so that the liquid-free volume does not change with change in temperature? Given, coefficient of real expansion of mercury=0·00018/°C and coefficient of volume expansion of glass=0·000025/°C]

[Ans. 87·5 c.c.]

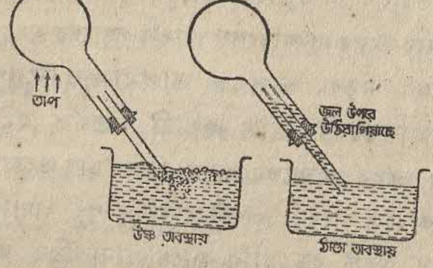
চতুর্থ অধ্যায়

গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণ (Expansion of gases)

4.1. গ্যাসের প্রসারণের পরীক্ষা (Experiment on the expansion of a gas) :

কঠিন ও তরল পদার্থ অপেক্ষা তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন প্রসারণ অনেক বেশী। তরল পদার্থের মত গ্যাসেরও কোন নিজস্ব আকার না থাকায় একমাত্র আয়তন প্রসারণই সম্ভব। পাত্রের প্রসারণের তুলনায় গ্যাসের প্রসারণ এত বেশী হয় যে, সাধারণভাবে গ্যাসের প্রসারণ বিচারে পাত্রের প্রসারণ উপেক্ষা করা হয়। এই কারণে, গ্যাসের ক্ষেত্রে কেবলমাত্র প্রকৃত প্রসারণ বা সংক্ষেপে প্রসারণ বলা হয়, আপাত প্রসারণ বলিয়া কিছু ধরা হয় না।

এখানে এক সহজ পরীক্ষার মাধ্যমে তাপপ্রয়োগে গ্যাসের প্রসারণ ও তাপ-হ্রাসে সংকোচন দেখান যাইতে পারে। একটি কাচের ফ্ল্যাস্কের মুখে আটকানো ছিপির ছিদ্র দিয়া একটি সরু কাচনল লাগান আছে (চিত্র 4.1)। কাচনলের মুখটি একটি বীকারের জলে ডোবাইয়া ফ্লাস্কে তাপ দিলে ফ্লাস্কের ভিতরের



চিত্র 4.1(*a*)　　　চিত্র 4.1(*b*)

বায়ু আয়তনে প্রসারিত হইবে এবং জলের মধ্যে বুদ্বুদের আকারে বাহিরে আসিবে (চিত্র 4.1a)। কিছুক্ষণ তাপ দেওয়ার পরে ফ্লাস্কটি ঠাণ্ডা করিলে দেখা যাইবে, কাচনলের ভিতর দিয়া বীকারের জল ফ্লাস্কের ভিতরে ঢুকিয়াছে (চিত্র 4.1b)। ইহার কারণ, কিছু পরিমাণ বায়ু নির্গত হওয়ায় ফ্লাস্কের ভিতর বায়ুর পরিমাণ কমিয়া গিয়াছে। তাপমাত্রা হ্রাসে এই বায়ু সংকুচিত হওয়ায় বাহিরের বায়ুমণ্ডলীয় চাপের প্রভাবে বীকারের জল ফ্লাস্কের ভিতর ঢুকিয়াছে।

4.2. গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপের ভূমিকা (Role of pressure in gases) :

তাপমাত্রার বৃদ্ধিতে কেবলমাত্র যে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি পায় তাহা নহে, ইহার চাপও বৃদ্ধি পায়। কঠিন ও তরল পদার্থের ক্ষেত্রে তাপের সহিত চাপের সামান্যতম বৃদ্ধি উপেক্ষা করা হয়। কিন্তু গ্যাসের ক্ষেত্রে এই পরিবর্তন অনেক বেশী। একটি বড় গ্যাসজারের মুখ ছিপি দিয়া বন্ধ করিয়া তাপ দিলে দেখা যাইবে, ছিপি সজোরে ছিটকাইয়া বাহির হইয়া যাইতেছে। তাপে জারের ভিতরের বাতাস বা যে কোন গ্যাস আয়তনে প্রসারিত হইতে চায়, কিন্তু কাচের দেওয়াল তাহাকে বাধা দেওয়ায় ভিতরের চাপ খুব বাড়িয়া যায়। এই বর্ধিত চাপের প্রভাবে ছিপি সজোরে ছিটকাইয়া বাহির হয়।

কঠিন ও তরল পদার্থ মোটামুটিভাবে অসংনম্য (incompressible), অর্থাৎ উপরিস্থিত চাপের হ্রাসবৃদ্ধিতে আয়তনের উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন হয় না এবং অতি সামান্য পরিবর্তনকে সাধারণভাবে উপেক্ষা করা হয়। গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে চাপের স্বল্প পরিবর্তনই আয়তনের যে পরিবর্তন ঘটায়, তাহাকে উপেক্ষা করা যায় না। গ্যাসীয় পদার্থের অণুগুলির পারস্পরিক ব্যবধান এত বেশী যে, ইহার উপরিস্থিত চাপ সামান্য বাড়াইলেই আয়তন বেশ কিছু পরিমাণে কমিয়া যায়। আবার চাপের হ্রাসে বিপরীত ফল অর্থাৎ প্রসারণ ঘটিয়া থাকে। সুতরাং কঠিন ও তরল পদার্থের আয়তন লিখিবার সময় চাপ, এমন কি, তাপমাত্রার উল্লেখ না করিলেও গ্যাসীয় পদার্থের সময় তাহার অবশ্য প্রয়োজন রহিয়াছে। নতুবা, **চাপ ও তাপমাত্রার উল্লেখ ব্যতিরেকে একটি নির্দিষ্ট আয়তনের গ্যাস কথাটি নিরর্থক হইয়া দাঁড়ায়।** যেমন, এক গ্রাম ভরের অক্সিজেন গ্যাস বিভিন্ন চাপ ও তাপমাত্রায় বিভিন্ন আয়তন পরিগ্রহ করিতে পারে। একটি টেষ্টটিউব-পূর্ণ বাদামী নাইট্রোজেন পারঅক্সাইড গ্যাস একটি বড় খালি ফ্লাস্কে স্থানান্তরিত করিলে, গ্যাসটি ফ্লাস্কের সমস্ত আয়তন অধিকার করিবে।

সুতরাং গ্যাসের ক্ষেত্রে আয়তন, ইহার চাপ ও তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল। **চাপ, তাপমাত্রা ও আয়তন—এই তিনটি রাশিকে এজন্য গ্যাসের পরিবর্তনীয় রাশি** (variables) বলে।

চাপ ও তাপমাত্রার পরিবর্তনের সহিত গ্যাসের আয়তনের যে পরিবর্তন ঘটিয়া থাকে, তাহা কয়েকটি সুনির্দিষ্ট নিয়ম মানিয়া চলে। এই নিয়মগুলিকে **গ্যাসের সূত্র** (Gas laws) বলে।

4.3. বয়েলের সূত্র (Boyle's law) :

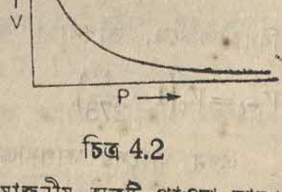
তাপমাত্রা স্থির থাকিলে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন উহার চাপের সহিত ব্যস্ত অনুপাতে পরিবর্তিত হয়।

বয়েলের সূত্র হইতে চাপের হ্রাস-বৃদ্ধিতে গ্যাসের আয়তনের যে পরিবর্তন হয়, তাহার নির্দিষ্ট আংকিক হিসাব পাওয়া যায়। এই সূত্র অনুযায়ী, কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসকে কোন পাত্রে আবদ্ধ রাখিয়া চাপ দ্বিগুণ করিলে আয়তন অর্ধেক হইয়া যাইবে, চাপ তিনগুণ করিলে আয়তন এক-তৃতীয়াংশ হইবে, ইত্যাদি। বিপরীতক্রমে, চাপ অর্ধেক করিলে আয়তন দ্বিগুণ, এক-তৃতীয়াংশ করিলে আয়তন তিনগুণ হইবে, ইত্যাদি। একটি শর্ত অবশ্যই সমস্ত পরিবর্তনের ক্ষেত্রে পালিত হওয়া দরকার ; ইহা, তাপমাত্রার যেন কোন পরিবর্তন না হয়।

এখন, ধরা যাক, একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন গ্যাসের আয়তন V এবং ইহার চাপ P, সুতরাং বয়েলের সূত্রানুযায়ী, $V \propto \frac{1}{P}$, বা $V = K\frac{1}{P}$, এখানে K একটি ধ্রুবক। সুতরাং $\mathbf{PV = K}$; অর্থাৎ, চাপ ও আয়তনের গুণফল সর্বদাই একটি ধ্রুবক হইবে। নির্দিষ্ট পরিমাণ কোন গ্যাসের চাপ যদি ক্রমাগত পরিবর্তন করা হয় এবং প্রত্যেক ক্ষেত্রে আয়তন মাপা হয়, তবে প্রত্যেক ক্ষেত্রেই চাপ ও আয়তনের গুণফল একই পাওয়া যাইবে।

চাপগুলির মান যদি P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি এবং আয়তনকে যথাক্রমে $V_1, V_2, V_3 \cdots$ ইত্যাদি দ্বারা সূচিত করা হয়, তবে বয়েলের সূত্রানুযায়ী, $P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = \cdots\cdots K$।

লেখচিত্রে চাপ ও আয়তনের মানগুলিকে সন্নিবেশ করিলে, একটি আয়তকার পরাবৃত্তীয় (rectangular hyperbola) লেখ (চিত্র 4.2) পাওয়া যাইবে। তাপমাত্রার উপর PV-র মান নির্ভরশীল বলিয়া একই গ্যাসের ভিন্ন তাপমাত্রায় P ও V-এর লেখ অঙ্কন করিলে উহা ভিন্ন হইবে। কিন্তু লেখর ধরণ একই হইবে। এই লেখ-কে **সমোষ্ণ লেখ** (isothermal) বলে।



চিত্র 4.2

বয়েলের সূত্র হইতে চাপ ও ঘণত্বের প্রয়োজনীয় সূত্রটি পাওয়া যায়। M ভরের কোন গ্যাসের চাপ P, আয়তন V এবং ঘণত্ব D দ্বারা সূচিত করিলে, বয়েলের সূত্রানুযায়ী নির্দিষ্ট উষ্ণতায়,

$$PV=K \text{ (ধ্রুবক)}, \text{ অথবা } P\frac{M}{D}=K$$

অথবা, $\frac{P}{D}=\frac{K}{M}=$ধ্রুবক। সুতরাং $P \propto D$

অর্থাৎ, তাপমাত্রা স্থির থাকিলে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের ঘণত্ব উহার চাপের সহিত সমানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

4.4. চার্লসের সূত্র (Charle's law) ও **তাপমাত্রার পরম স্কেল** (Absolute scale of temperature) ঃ

তাপমাত্রা স্থির রাখিয়া চাপের সহিত আয়তনের সম্পর্ক বয়েলের সূত্রে জানা গেল। এখন স্থির চাপে তাপমাত্রার সহিত আয়তনের সম্পর্ক চার্লসের সূত্রে জানা যাইবে। গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে, যে কোন দুইটি পরিবর্তনীয় রাশির পারস্পরিক সম্পর্ক জানিতে হইলে, তৃতীয় রাশিকে অবশ্যই স্থির রাখিতে হইবে।

নির্দিষ্ট চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন প্রতি ডিগ্রী সেলসিয়াস (°C) **তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য উহার শূন্য ডিগ্রী সেলসিয়াসের** (0°C) **আয়তনের একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ** ($\frac{1}{273}$) **যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।** ইহাই চার্লসের সূত্র।

0°C তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট ভরের স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন V_0 হইলে, চার্লসের সূত্র অনুযায়ী $1°C$ তাপমাত্রায় উহার আয়তন হইবে,

$V_0+\frac{1}{273}V_0=V_0\left(1+\frac{1}{273}\right)$ এবং $2°C$ তাপমাত্রায় হইবে

$V_0+\frac{2}{273}V_0=V_0\left(1+\frac{2}{273}\right).$

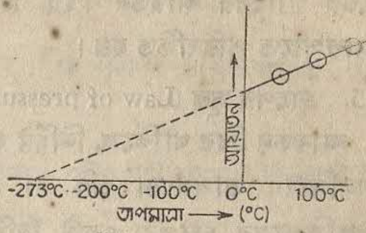
এই নিয়ম অনুযায়ী, $t°C$ তাপমাত্রায় আয়তনের মান, $V_t=V_0\left(1+\frac{t}{273}\right)$

বিপরীতক্রমে, তাপমাত্রা কমাইলে, $-t°C$ তাপমাত্রায় গ্যাসটির আয়তন $V_{-t}=V_0\left(1-\frac{t}{273}\right).$

এখন গ্যাসের তাপমাত্রা কমাইতে কমাইতে যদি $0°C$-এর 273° নীচে লইয়া যাওয়া যায়, তবে অংকের হিসাবে ঐ তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন

$$V_{-273°C}=V_0\left(1-\frac{273}{273}\right)=0.$$

দেখা যাইতেছে, চার্লসের সূত্রানুযায়ী, $-273°C$ তাপমাত্রায় গ্যাসের কোন আয়তন থাকিবে না। যদি কোন গ্যাসের বিভিন্ন আয়তন ও তাপমাত্রা দিয়া একটি লেখচিত্র অংকন করা যায়, তবে উহা একটি সরল-রেখা হইবে (চিত্র 4.3)। উহাকে বর্ধিত করিলে উহা তাপমাত্রা অক্ষকে $-273°C$-এ ছেদ করিবে।



চিত্র 4.3

কিন্তু বাস্তবে কোন গ্যাসের আয়তনের শূন্যতা পাওয়া সম্ভব নহে। ইহা ছাড়াও, $-273°C$ তাপমাত্রায় পৌঁছিবার পূর্বেই গ্যাসটি প্রথমে তরল ও পরে জমিয়া কঠিনাকার ধারণ করিবে। সুতরাং চার্লসের গ্যাস সূত্রটি তখন আর কার্যকরী হইবে না। এই তাপমাত্রা বাস্তবে না পাওয়া গেলেও ইহার অন্য একটি বিশেষ গুরুত্ব রহিয়াছে। **$-273°C$-কে শূন্য ডিগ্রী (0°) ধরিয়া বিজ্ঞানী কেলভিন তাপাঙ্কের একটি নূতন স্কেল প্রবর্তন করেন। এই স্কেলকে পরম স্কেল (Absolute scale) বলা হয়।** এই স্কেল অনুযায়ী $0°C$-কে 273° কেলভিন বা $273°K$ বলা হয়। পরম (Absolute) স্কেল বলিয়া এই স্কেলের তাপমাত্রাকে A দ্বারাও সূচিত করা হয়। $-273°C$ বা $0°\ A$-কে **পরমশূন্য তাপমাত্রা** বলে।

পরম স্কেলের ডিগ্রীর ভাগ সেলসিয়াস স্কেলের মতই। এই দুই স্কেলের তফাৎ এই যে সেলসিয়াস স্কেলের 0° যেখানে শুরু, পরম স্কেলের 0° তাহার 273° নীচে শুরু হয়। সেলসিয়াস স্কেলে বরফ গলনের তাপমাত্রা ও জলের স্ফুটনের তাপমাত্রা যথাক্রমে $0°C$ এবং $100°C$, পরম স্কেলে ঐ দুই তাপমাত্রা যথাক্রমে $273°A$ এবং $373°A$ দ্বারা নির্দেশ করা হয়। সুতরাং দেখা যাইতেছে, সেলসিয়াস স্কেলে কোন অজ্ঞাত তাপমাত্রা $t°C$ হইলে, পরম স্কেলে তাহা $(t+273)°A$ হইবে। ইহাকে অনেক সময় $T°A$ দ্বারাও লেখা হয়।

তাপমাত্রার পরম স্কেলে চার্লসের সূত্রকে আমরা নিম্নলিখিতভাবে লিখিতে পারি। $V_t=V_0\left(1+\frac{t}{273}\right)=V_0\left(\frac{273+t}{273}\right)=V_0\left(\frac{T}{T_0}\right)$

সুতরাং, $\frac{V_t}{T}=\frac{V_0}{T_0}$, অর্থাৎ $V \propto T$

অতএব, চার্লসের সূত্রকে আমরা এই ভাবেও লিখিতে পারি যে **নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন স্থির চাপে উহার পরম তাপমাত্রার সমানুপাতে পরিবর্তিত হয়।**

4.5. চাপের সূত্র (Law of pressure) **:**

আয়তন স্থির থাকিলে, নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ প্রতি ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য উহার শূন্য ডিগ্রী সেলসিয়াসের চাপের একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ ($\frac{1}{273}$) যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়। ইহাই চাপের সূত্র।

যদি $0°C$ তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ P_0 এবং $t°C$ তাপমাত্রায় চাপ P_t হয়, তবে, $P_t = P_0\left(1+\frac{t}{273}\right)$, এক্ষেত্রেও দেখা যাইতেছে, স্থির আয়তনে $P \propto T$.

4.6. বয়েল ও চার্লস সূত্রের সমন্বয় (Combination of Boyle's and Charles' Laws) ও **আদর্শ গ্যাস সমীকরণ** (Ideal gas equation) **:**

কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ, তাপমাত্রা ও আয়তন যথাক্রমে P, T এবং V ধরিলে, বয়েলের সূত্র হইতে লিখিতে পারি $V \propto \frac{1}{P}$ যখন T-র মান নির্দিষ্ট এবং চার্লসের সূত্র হইতে লিখিতে পারি $V \propto T$ যখন P-এর মান নির্দিষ্ট। সুতরাং, ভেদের নীতি অনুযায়ী, $V \propto \frac{1}{P} \times T$, যখন T এবং P উভয়েই পরিবর্তিত হয়।

অর্থাৎ, $V = K\frac{T}{P}$ [K = ধ্রুবক]

বা, $\frac{PV}{T} = K$। এখন গ্যাসের চাপ, তাপমাত্রা ও আয়তন পরিবর্তিত হইয়া যদি P_1, T_1, V_1 হয় তবে আমরা লিখিতে পারি $\frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1}$। ইহাই বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয়ের ফল। যে গ্যাস বয়েলের ও চার্লসের সূত্র অর্থাৎ $\frac{PV}{T} = K$ সমীকরণটি মানিয়া চলে তাহাকে **আদর্শ গ্যাস** বলা হয়। আদর্শ গ্যাসের এক গ্রাম অণু (one gram molecule) ধরিলে K-এর মান সর্বজনীন অর্থাৎ যে কোন গ্যাসের ক্ষেত্রে উহার মান সমান। এই মানকে সাধারণত 'R_0' দ্বারা সূচিত করা হয় এবং ইহাকে

সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক (universal gas constant) বলা হয়। সুতরাং আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে আমরা লিখিতে পারি,

$\frac{PV}{T}=R_0$ অথবা $\mathbf{PV=R_0T}$; এই সমীকরণটিকে **আদর্শ গ্যাস সমীকরণ** বলে।

'n' গ্রাম-অণু পরিমাণ গ্যাসের ক্ষেত্রে, সমীকরণটি হইবে, $PV=nR_0T=RT$ [$R=n.R_0$]

4.6a. সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবকের মান (Magnitude of universal gas constant) **:**

এক গ্রাম-অণু গ্যাসের ক্ষেত্রে আদর্শ সমীকরণ $PV=R_0T$

অর্থাৎ, $R_0=\frac{PV}{T}=\frac{P_0V_0}{T_0}$

[$\because$ যে কোন চাপ ও তাপমাত্রায় যে কোন আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে সমীকরণটি প্রযোজ্য]

P_0 = প্রমাণ চাপ = 76 সে. মি. পারদের চাপ

$= 76 \times 13{\cdot}6 \times 981$ ডাইন/সে.মি.^{2}

V_0 = প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় এক গ্রাম অণু গ্যাসের আয়তন

= 22·4 লিটার = 22400 সি.সি.

T_0 = প্রমাণ তাপমাত্রা = 0°C = 273°A

$$\therefore \quad R_0=\frac{76\times13{\cdot}6\times981\times22400}{273}=8{\cdot}31\times10^7 \text{ আর্গ}/^0C$$

4.7. তাপমাত্রা ও চাপের সহিত গ্যাসের ঘণত্বের পরিবর্তন (Variation of density of any gas with temperature and pressure) **:**

মনে করা যাক, m ভরের কোন গ্যাসের T_1°A পরম তাপমাত্রায় আয়তন V_1, চাপ P_1 এবং ঘনত্ব D_1। গ্যাসের তাপমাত্রা পরিবর্তিত হইয়া T_2°A হইলে গ্যাসটির আয়তন, চাপ এবং ঘণত্ব যেন যথাক্রমে V_2, P_2 এবং D_2 হয়।

এই পরিবর্তনে গ্যাসের ভর অপরিবর্তিত থাকিবে।

$$\text{ভর } m=V_1D_1=V_2D_2 \qquad \cdots \quad (1)$$

এখন, $\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$ হইতে লিখিতে পারা যায়,

$$\frac{P_1 m}{T_1 D_1} = \frac{P_2 m}{T_2 D_2} \quad [\text{(1) হইতে}]$$

বা, $\frac{P_1}{T_1 D_1} = \frac{P_2}{T_2 D_2}$ অর্থাৎ $\frac{P}{DT}$=ধ্রুবক……(2)

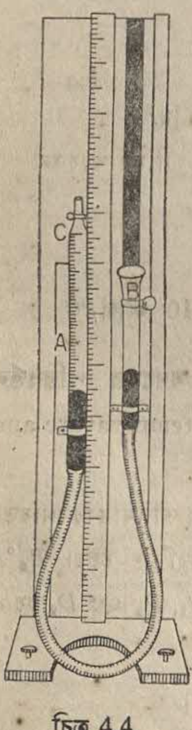
(i) তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রাখিলে, অর্থাৎ $T_1 = T_2$ হইলে (2) হইতে লেখা যায়, $\frac{P}{D}$=ধ্রুবক, অর্থাৎ $P \propto D$, **চাপ ঘণত্বের সমানুপাতিক।**

(ii) চাপ অপরিবর্তিত রাখিলে, (2) হইতে পাই, DT=ধ্রুবক

অর্থাৎ, $D \propto \frac{1}{T}$, **ঘণত্ব পরম উষ্ণতার ব্যস্ত-অনুপাতিক।**

4.8. বয়েলের সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Experimental verification of Boyle's Law) :

একটি উল্লম্ব কাঠের ফ্রেমে আটকানো স্কেলের দুইপাশে A এবং B দুইটি কাচনল ইচ্ছামত উঠানো বা নামান যায় (চিত্র 4.4)। A কাচনলের উপর মুখে একটি স্টপকক্ (C) আছে। B নলের দুই মুখই খোলা। একটি লম্বা রবারের নল দ্বারা A এবং B-এর নীচের মুখদুইটি সংযুক্ত এবং রবারের নল এবং কাচনলের কিছুদূর পর্যন্ত পারদ ভর্তি থাকে। উল্লম্ব স্কেলের সাহায্যে উভয় কাচনলে পারদের উচ্চতা মাপা যায়। A নলে পরীক্ষাধীন গ্যাস বা বাতাস থাকে। ইহাতে কাচের গায়ে আয়তনের দাগ কাটা থাকে।



চিত্র 4.4

প্রাথমিক অবস্থায় উভয় নলের পারদের উচ্চতা একই তলে আনা হয়। এই সময় A নলের মধ্যস্থিত গ্যাসের চাপ ও B নলের উপরে বায়ুমণ্ডলীয় চাপ সমান—কারণ রবারের U-টিউবের দুই বাহুতেই পারদের উচ্চতা সমান। বায়ুমণ্ডলীয় চাপ H সে.মি. পারদের সমান হইলে, A নলের গ্যাসের চাপ=H সে.মি.। এই অবস্থায় A নলে গ্যাসের আয়তন V হইলে, বয়েলের সূত্র অনুযায়ী HV= ধ্রুবক।

এখন B নলকে কিছুটা উপরে তুলিলে, A নলে পারদ উপরে উঠিবে ;

ফলে গ্যাসের আয়তন কমিবে। এই অবস্থায় B নলের পারদতল যদি A নলের পারদতল অপেক্ষা h সে.মি. উপরে থাকে, তবে A নলে গ্যাসের চাপ$=H+h$। এই অবস্থায় গ্যাসের আয়তন V_1 হইলে, দেখা যাইবে $(H+h)\ V_1=HV$ হইয়াছে। একইভাবে বিভিন্ন উচ্চতায় B নলকে তুলিয়া প্রত্যেক ক্ষেত্রে চাপ ও আয়তনের গুণফল বাহির করিলে তাহা HV-র সমান হইবে।

B নলকে উপরে না তুলিয়া নীচে নামাইলে B নলের পারদতলের উচ্চতা A নলের পারদউচ্চতার কম হইবে। সেক্ষেত্রে উভয় নলের পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য h' সে.মি. হইলে, A নলের গ্যাস চাপ হইবে $(H-h')$ সে.মি. [B নলের খোলামুখে চাপ সর্বদাই H]।

এই অবস্থায় A নলের গ্যাসের আয়তন V_2 হইলে, দেখা যাইবে $(H-h')$ $_2=HV$ হইয়াছে। পূর্বের মতই B নলকে বিভিন্ন উচ্চতায় নামাইয়া পরীক্ষাটি করা যায়।

লক্ষ্য রাখিতে হইবে, পরীক্ষাকালে তাপমাত্রায় যেন কোন পরিবর্তন না ঘটে। প্রতিক্ষেত্রে চাপ ও আয়তনের মানগুলি $P-V$ লেখচিত্রে সন্নিবেশিত করিলে আয়তকার পরাবৃত্ত পাওয়া যাইবে। এইভাবে পরীক্ষার সাহায্যে বয়েলের সূত্রের যথার্থতা প্রমাণ করা যায়।

4.9. গ্যাসের প্রসারণ গুণাঙ্ক (Coefficients of expansion of gases) :

তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে গ্যাসের চাপ ও আয়তন—উভয়েরই পরিবর্তন ঘটে। সুতরাং গ্যাসের ক্ষেত্রে দুইটি গুণাঙ্ক পাওয়া যাইবে—একটি স্থির চাপে আয়তনের হ্রাসবৃদ্ধির জন্য এবং অপরটি স্থির আয়তনে চাপের হ্রাসবৃদ্ধির জন্য।

(a) **আয়তন গুণাঙ্ক** (Coefficient of volume expansion) : **স্থির চাপে কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের তাপমাত্রা $0°C$ হইতে $1°C$ বৃদ্ধি করিলে প্রতি একক আয়তনে যে পরিমাণ আয়তন বৃদ্ধি হয়, তাহাকে ঐ গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক বা সংক্ষেপে আয়তন গুণাঙ্ক বলা হয়।** সকল গ্যাসের ক্ষেত্রে ইহার মান সমান। সাধারণত ইহাকে γ_v দ্বারা সূচিত করা হয়।

$$\therefore\ \gamma_v=\frac{V_t-V_0}{V_0 t}$$

এখানে $V_t = t°C$-এ গ্যাসের আয়তন

$V_0 = 0°C$-এ " "

(b) **চাপ গুণাঙ্ক (Pressure coefficient) :**

স্থির আয়তনে কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের তাপমাত্রা 0°C হইতে 1°C বৃদ্ধি করিলে প্রতি একক চাপে যে পরিমাণ চাপ-বৃদ্ধি হয়, তাহাকে ঐ গ্যাসের চাপ-গুণাঙ্ক বলা হয়। ইহাকে γ_v দ্বারা সূচিত করা হয়।

$$\therefore \quad \gamma_v = \frac{P_t - P_0}{P_0 t}$$

এখানে $P_t = t°C$-এ গ্যাসের চাপ

$P_0 = 0°C$-এ " "

4.9a. গ্যাসের দুই গুণাঙ্কর মান সমান (Both the coefficients of a gas are equal) :

ধরা যাক, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের 0°C-এ আয়তন V_0 এবং চাপ P_0। এখন, চাপ P_0 স্থির রাখিয়া গ্যাসের তাপমাত্রা $t°C$ করিলে আয়তন যেন V_t হয়, সুতরাং চাপ ও আয়তনের গুণফল P_0V_t হইবে।

আবার, গ্যাসটির আয়তন V_0 স্থির রাখিয়া তাপমাত্রা $t°C$ করিলে চাপ যদি P_t হয়, তবে উহাদের গুণফল P_tV_0 হইবে।

উভয় ক্ষেত্রেই তাপমাত্রা একই ($t°C$) হওয়ায়, $P_0V_t = P_tV_0$.

$$\text{এখন,}\quad \gamma_p = \frac{V_t - V_0}{V_0 t}$$

$$= \frac{P_0V_t - P_0V_0}{P_0V_0t} \quad [\text{ উপর-নীচে } P_0 \text{ দ্বারা গুণ করিয়া }]$$

$$= \frac{P_tV_0 - P_0V_0}{P_0V_0t} \quad [\because \; P_0V_t = P_tV_0 \,]$$

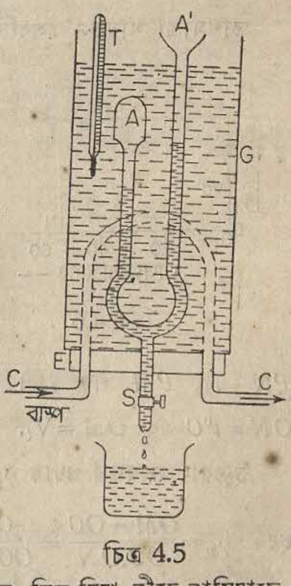
$$= \frac{P_t - P_0}{P_0 t} \quad [\text{ উপর-নীচে } P_0 \text{ দ্বারা ভাগ করিয়া }]$$

$$= \gamma_v$$

$\therefore \; \gamma_p = \gamma_v$, অর্থাৎ গ্যাসের উভয় প্রসারণ গুণাঙ্কের মান সমান এবং চার্লস সূত্র হইতে জানি, এই প্রসারণ গুণাঙ্কের মান $\frac{1}{273}$ বা ·00366.

4.10. চার্লসের সূত্রের পরীক্ষা-মূলক প্রমাণ (Experimental verification of Charles' law) এবং **গ্যাসের আয়তন গুণাঙ্ক নির্ণয়** (Determination of the volume coefficient of a gas) :

রেণোর পদ্ধতি (Regnault's method) : রেণোর স্থির চাপ থার্মোমিটারের সাহায্যে যে কোন গ্যাস বা বায়ুর আয়তন গুণাঙ্ক বাহির করা যায়। এই পদ্ধতিতে একই সঙ্গে চার্লসের সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণও দেখা যায়। চিত্রে (4.5) স্থির চাপ থার্মোমিটারটি দেখান হইয়াছে। AA' একটি U-আকৃতির কাচনল—ইহার A' মুখটি খোলা ও অপেক্ষাকৃত লম্বা এবং অপর মুখে একটি বাল্‌ব (A) যুক্ত আছে। AA' নলের নীচের দিকে সরু লম্বা নল S যুক্ত—ইহার সহিত একটি স্টপকক্ লাগান আছে। A বাল্‌বটির গায়ে আয়তনসূচক দাগ কাটা আছে। U-নলের মধ্যে এবং বাল্‌বের কিছু অংশ পর্যন্ত সালফিউরিক অ্যাসিড রাখা আছে। পরীক্ষাধীন গ্যাস বা বায়ু A বাল্‌বে রাখা হয়। U-নলটি একটি জলপূর্ণ কাচের পাত্রে (G) এমনভাবে রাখা হয় যাহাতে নলের খোলা মুখটি (A') জলতলের কিছুটা উপরে থাকে। G পাত্রের নিম্নাংশে E একটি কর্কের ছিপি—S নলটি ছিপির মধ্যস্থ ছিদ্র দিয়া নীচে নামিয়াছে। একটি বাঁকানো তামার নল (CC) দিয়া ষ্টীম পাঠাইয়া পাত্রের জলকে গরম করা হয়। জলের তাপমাত্রা মাপিবার জন্য বাল্‌বের নিকটে একটি থার্মোমিটার T ঝুলান থাকে। একটি আলোড়কের সাহায্যে জলের বিভিন্ন অংশে তাপমাত্রার সমতা রক্ষা করা হয়।

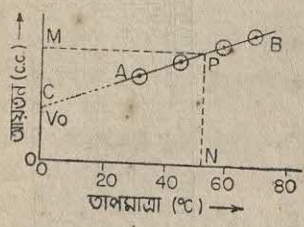


চিত্র 4.5

U-নলের খোলা মুখ দিয়া কিছু পরিমাণ সালফিউরিক অ্যাসিড ঢালিয়া নলের দুই বাহুতে অ্যাসিডের উপর-তল সমান করা হয়। এইরূপ অবস্থায় বাল্‌বের মধ্যস্থ বায়ু বা গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলীয় চাপের সমান হয়। এখন CC নল দিয়া স্টীম চালনা করিলে কাচপাত্রের জল উত্তপ্ত হয়। জলের তাপমাত্রা $5°$ বা $10°C$ বৃদ্ধি পাইলে ষ্টীম চালনা নিয়ন্ত্রিত করিয়া জলের তাপমাত্রা কিছুক্ষণ স্থির রাখা হয়। এই সময়ে বাল্‌বের গ্যাসের প্রসারণের ফলে A বাহুতে

অ্যাসিড স্তম্ভ নীচে নামে। S নলে লাগান স্টপককটি খুলিয়া কিছু অ্যাসিড বাহির করিয়া দিলে পুনরায় A এবং A' বাহুদ্বয়ের অ্যাসিড-তল সমান হইবে। ফলে এই তাপমাত্রাতে বাল্‌বের গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হইল অর্থাৎ বায়ু-চাপ স্থির রাখা হইল। বাল্‌বের দাগ হইতে গ্যাসের আয়তন দেখা হইল। এইরূপে, ষ্টীমপ্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করিয়া 5° বা $10°C$ অন্তর বিভিন্ন তাপমাত্রায় স্থির বায়ুমণ্ডলীয় চাপে গ্যাসটির আয়তন বাল্‌বের গায়ে রেখাঙ্কন হইতে নির্ণয় করা হইল।

তাপমাত্রা-আয়তন লেখচিত্রটি আঁকিলে একটি সরলরেখা (AB) পাওয়া যাইবে (চিত্র 4.6)। BA রেখাকে বর্ধিত করিলে উহা আয়তন-অক্ষকে C বিন্দুতে ছেদ করে। সুতরাং $OC(=V_0)$ 0^0C-এ গ্যাসের আয়তন নির্দেশ করে। AB রেখার উপর P যে কোন একটি বিন্দু লইয়া তাপমাত্রা ও আয়তন অক্ষদ্বয়ের উপরে যথাক্রমে PN এবং PM লম্ব টানা হইল। P বিন্দুর স্থানাঙ্ক (t, V_t) হইলে, $ON=t^0C$ এবং $OM=V_t$.



চিত্র 4.6

সুতরাং আয়তন গুণাঙ্ক $\gamma_p = \dfrac{V_t - V_0}{V_0 t}$ উক্ত লেখচিত্র হইতে সহজে বাহির হয়। $\gamma_p = \dfrac{OM-OC}{OC.ON} = \dfrac{CM}{OC.ON}$. ইহার মান $\dfrac{1}{273}$ হইবে। সুতরাং ইহাকে চার্লসের সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ বলিয়া ধরা যায়।

উদাহরণ (1) $10°C$ তাপমাত্রায় **1** লিটার বায়ু রাখা আছে। উহাকে কত তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিলে চাপ এবং আয়তন উভয়েই দ্বিগুণ হইবে?

[C. U. 1937]

উত্তর : আমরা জানি, $\dfrac{P_1V_1}{T} = \dfrac{P_2V_2}{T}$. এখানে $P_2 = 2P_1$, $V_2 = 2V_1$, $T_1 = 10+273 = 283$, $T_2 = t+273$ [মনে করি $t°C$=নির্ণেয় তাপমাত্রা]

$$\therefore \quad \frac{P_1V_1}{283} = \frac{2P_1 \cdot 2V_1}{t+273}$$

$$\text{অথবা,} \quad \frac{1}{283} = \frac{4}{t+273}$$

$$\text{অথবা,} \quad t = 4 \times 283 - 273 = 859°C$$

(2) একটি হাইড্রোজেন গ্যাসপূর্ণ চোঙ $27°C$ তাপমাত্রায় 100 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ পর্যন্ত সহ্য করিতে সক্ষম। চোঙের মধ্যে গ্যাসের চাপ 25 বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। উহাকে কত তাপমাত্রায় উন্নীত করিলে বিপজ্জনক অবস্থার মুখে আসিবে? [Joint Entrance '72]

উত্তর ঃ এখানে আয়তন স্থির আছে। সুতরাং সূত্র অনুযায়ী পাই,

$$\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2}$$

এখানে, $P_1=25,\ P_2=100$

$T_1=273+27=300$ এবং $T_2=t+273$

[$t°C$ = নির্ণেয় তাপমাত্রা]

$$\therefore\ \frac{25}{300}=\frac{100}{t+273}$$

অথবা, $t+273=1200$

$\therefore\ t=1200-273=\mathbf{927}°C$

(3) (a) $60°C$ তাপমাত্রায় একটি কাচপাত্র বায়ুপূর্ণ আছে। চাপ স্থির রাখিয়া উহাকে কত তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিলে এক-তৃতীয়াংশ বায়ু নিষ্ক্রান্ত হইবে?

(b) বায়ুমণ্ডলীয় চাপে এবং $0°C$ তাপমাত্রায় এক লিটার বাতাসের ভর 1·2 গ্র্যাম। $-18°C$ তাপমাত্রায় এবং 3 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে কত ভরের বাতাসের আয়তন 75 সি.সি. হইবে? [J. Entrance 1971]

উত্তর ঃ (a) $60°C$ তাপমাত্রায় স্থির চাপে বায়ুর ঘনত্ব D_1 ধরিলে, নির্ণেয় তাপমাত্রায় একই চাপে ও আয়তনে ঘনত্ব কমিয়া $\frac{2}{3}D_1$ হইবে (যেহেতু, এক তৃতীয়াংশ বায়ু নিষ্ক্রান্ত হইয়াছে)। এখন আমরা জানি $D_1T_1=D_1T_1$

$T_1=273+60$ এবং নির্ণেয় তাপমাত্রা $t°C$ ধরিলে, $T_2=273+t$

$\therefore\ D_1T_1=D_2T_2$ হইতে

$D_1(273+60)=\frac{2}{3}D_1(273+t)$

অথবা, $2(273+t)=3(273+60)$

অথবা, $2t=453$

$\therefore\ t=\mathbf{226{\cdot}5}°C$

(b) গ্যাসের চাপ, তাপমাত্রা ও ঘনত্বের পারস্পরিক সম্পর্ক হইতে জানি

$$\frac{P_1}{D_1T_1}=\frac{P_2}{D_2T_2}, \text{ এখানে } P_2=3P_1$$

$$D_1=\frac{1{\cdot}2}{1000}={\cdot}0012$$

$$T_1=273$$

$$T_2=-18+273=255$$

নির্ণেয় বাতাসের ভর m গ্র্যাম হইলে, $D_2=\frac{m}{75}$.

$$\therefore \quad \frac{P_1}{D_1T_1}=\frac{P_2}{D_2T_2} \text{ হইতে}$$

$$\frac{P_1}{{\cdot}0012\times 273}=\frac{3P_1}{\frac{m}{75}\times 255}$$

অথবা, $m=\frac{3\times{\cdot}0012\times 273\times 75}{255}$

$=0{\cdot}289$ গ্র্যাম।

প্রশ্নাবলী

1. তাপে গ্যাসের প্রসারণ ঘটে—পরীক্ষার সাহায্যে দেখাও। গ্যাসের আয়তন প্রসারণ নির্ধারণে তাপমাত্রা ও চাপের উল্লেখ করিতে হয় কেন?

[Show by an experiment that gases expand on heating. Why is it necessary to mention the temperature and pressure of a gas while determining the volume coefficient ?]

2. বয়েলের এবং চার্লসের সূত্র বল এবং ব্যাখ্যা কর। তাপমাত্রার পরম স্কেল বলিতে কি বুঝ? চার্লসের সূত্র হইতে কিভাবে পরম শূন্যের মান পাওয়া যায়?

[State and explain Boyle's & Charles' laws. What do you understand by Absolute Scale of temperature ? How the value of the Absolute zero is obtained from Charles' law ?]

3. আদর্শ গ্যাস সমীকরণটি প্রতিষ্ঠিত কর। সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক কি? উহার মান বাহির কর।

[Deduce the ideal gas equation. What is universal gas constant ? Find its magnitude.]

4. তাপমাত্রা ও চাপের সহিত গ্যাসের ঘনত্ব কিভাবে পরিবর্তিত হয়? 750 মি. মি. চাপের ও 10°C তাপমাত্রায় বায়ুর ঘনত্বের সহিত 760 মি. মি. চাপের ও 15°C তাপমাত্রার বায়ুর ঘনত্বের তুলনা কর।

[How does the density of a gas vary with temperature and pressure? Compare the density of air at 10°C and 750 m.m. pressure with its density at 15°C and 760 m.m. pressure.] [Ans. 54 : 53·77]

5. গ্যাসের প্রসারণ গুণাঙ্কগুলির সংজ্ঞা দাও। দেখাও যে, উহাদের মান পরস্পর সমান। রেনোর পদ্ধতিতে আয়তন গুণাঙ্ক কিভাবে বাহির করা যায়?

[Define co-efficients of expansion of a gas. Show that they have the same value. How the value of volume co-efficient of a gas can be determined by Regnault's method?]

6. 0°C তাপমাত্রায় ও প্রমাণ চাপে এক লিটার বায়ুর ভর 1·293 গ্রাম। PV=RT সমীকরণ হইতে R-এর মান নির্ণয় কর।

[The mass of 1 litre of air at 0°C and standard atmospheric pressure is 1·293 gm. Find the value of R in the equation PV=RT] [Ans. $2{\cdot}87\times10^6$ ergs/°C/gm]

7. প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে 1 মি. মি. হাইড্রোজেন গ্যাসের ভর $8{\cdot}96\times10^{-5}$ গ্রাম। 20°C তাপমাত্রায় ও প্রমাণ চাপে ইহার ভর কত?

[The mass of 1 c.c. of hydrogen at N.T.P. is $8{\cdot}96\times10^{-5}$ gm. What will be its mass at 20°C and standard pressure?]

[Ans. $8{\cdot}35\times10^{-5}$ gm.]

8. 'পরম তাপমাত্রা' বলিতে কি বুঝায়? ফারেনহাইট স্কেলে পরম শূন্যের মান বাহির কর।

[What is meant by 'absolute temperature'? Find the value of the absolute zero on the Farenheit scale.]

[Ans. −459·4°F]

9. 47°C তাপমাত্রায় এবং 60 সে. মি. পারদের চাপে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন 20 সি. সি.। 77°C তাপমাত্রায় ও 70 সে. মি. পারদের চাপে উহার আয়তন কত?

[A gas accupies a volume of 20 c.c. at a temperature of 47°C and pressure 60 cm. of mercury. What volume does it occupy at 77°C and pressure 70 cm. of mercury ?

[Ans. 18·75 c.c.]

10. তাপমাত্রা-আয়তন লেখে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন 0°C-এ 20 সি. সি. এবং 68·25°C-এ 25 সি. সি. পাওয়া গেলে গ্যাসটির আয়তন গুণাঙ্ক কত ?

[What is the volume co-efficient of a gas if volumes at 0°C and 68·25°C are 20 c.c. and 25 c.c. respectively as obtained from its temperature-volume graph ? [Ans. $\frac{1}{273}$]

11. স্থির চাপে 5 লিটার আয়তনের কোন গ্যাসকে 0°C হইতে 35°C পর্যন্ত উত্তপ্ত করিলে ইহার আয়তন 640 সি. সি. বৃদ্ধি পায়। এই সকল মান হইতে সেন্টিগ্রেড এককে পরম শূন্য তাপমাত্রার মান নির্ণয় কর।

[H. S. 1965]

[At constant pressure 5 litres of a certain gas expand by 640c.c. when heated from 0°C to 35°C. Calculate from this data the value of the absolute zero on the centigrade scale.] [Ans. −273·4°C]

পঞ্চম অধ্যায়

ক্যালরিমিতি (Calorimetry)

5.1. ক্যালরিমিতি (Calorimetry) :

বস্তুর অন্তর্গত তাপ পরিমাপযোগ্য। দুইটি ভিন্ন তাপমাত্রার বস্তুকে একত্রে রাখিলে উচ্চ তাপমাত্রাসম্পন্ন বস্তু কিছু তাপ নিম্ন তাপমাত্রাসম্পন্ন বস্তুকে প্রদান করে এবং উহারা মধ্যবর্তী একটি চূড়ান্ত তাপমাত্রায় পৌছায়। যে পদ্ধতিতে বস্তুর গৃহীত বা বর্জিত তাপ এবং উহাদের নিজস্ব তাপ পরিমাপ করা হয় তাহাকে ক্যালরিমিতি বলা হয়।

তাপ পরিমাপের জন্য চোঙাকৃতি একটি তামার পাত্র ব্যবহার করা হয়। ইহাকে **ক্যালরিমিটার** বলে। ক্যালরিমিটারের ভিতরকার তরল পদার্থের তাপের সমতা করার জন্য একটি আলোড়ক (stirrer) ব্যবহার করা হয়।

5.2. তাপের একক (Units of heat) :

অন্যান্য ভৌতরাশিসমূহের ন্যায় তাপেরও একক আছে। প্রচলিত এককগুলি নিম্নে বলা হইল।

(i) **ক্যালরি** (Calorie) : সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে তাপের একক ক্যালরি। 1 গ্র্যাম বিশুদ্ধ জলের 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন তাহাকে 1 ক্যালরি বলে।

বস্তুতপক্ষে, পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, 1 গ্র্যাম জলের 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে তাপমাত্রার পাল্লার বিভিন্ন অংশে একই পরিমাণ তাপ লাগে না। এজন্য ক্যালরির উপরি-উক্ত সংজ্ঞাটি সঠিক নয়। ক্যালরির প্রচলিত সংজ্ঞাগুলি নিম্নরূপ।

(a) **15° ক্যালরি :** 1 গ্র্যাম বিশুদ্ধ জলের 14·5°C হইতে 15·5°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন তাহাকে 1 ক্যালরি বা 15° ক্যালরি বলে।

(b) **গড় ক্যালরি :** 1 গ্র্যাম বিশুদ্ধ জলের 0°C হইতে 100°C পর্যন্ত তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন, উহার $\frac{1}{100}$ অংশকে 1 ক্যালরি বা গড় ক্যালরি বলে।

ইহা ছাড়া, ক্যালরির আরও দুইটি সংজ্ঞা আছে। তবে তাহারা তেমন প্রচলিত নয়।

(ii) **বৃটিশ থার্মাল একক** (British thermal unit) : এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে তাপের একক বৃটিশ থার্মাল একক। 1 পাউণ্ড বিশুদ্ধ জলের $1°F$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন তাহাকে 1 বৃটিশ থার্মাল একক বলে। তাপমাত্রাবৃদ্ধি সাধারণতঃ $62°F$ হইতে $63°F$ ধরা হয়।

যেহেতু, 1 পাউণ্ড$=453·6$ গ্র্যাম এবং $1°F=\frac{5}{9}°C$,

কাজেই 1 বৃটিশ থার্মাল একক$=453·6\times\frac{5}{9}=252$ ক্যালরি।

(iii) **থার্ম** (Therm) : এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে তাপের একটি বড় একক হইল থার্ম। 100,000 পাউণ্ড জলের $1°F$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন তাহাকে 1 থার্ম বলা হয়। অর্থাৎ, 1 থার্ম$=100,000$ বৃটিশ থার্মাল-একক।

(iv) এম. কে. এস.-পদ্ধতিতে তাপ জুলে প্রকাশ করা হয়। এই পদ্ধতি অনুযায়ী 1 কিলোগ্র্যাম বিশুদ্ধ জলের $1°K$ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে তাপ লাগে, তাহার পরিমাণ 4190 জুল।

সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে এই তাপের পরিমাণ$=1000$ ক্যালরি।

সুতরাং দেখা যাইতেছে, 1000 ক্যালরি$=4190$ জুল, অর্থাৎ 1 ক্যালরি $=4·19$ জুল।

উপরি-উক্ত এককগুলি ছাড়াও বিভিন্ন পদ্ধতির মিশ্রণে কয়েকটি মিশ্র একক আছে। তবে ইহাদেরও খুব বেশী প্রচলন নাই।

5.3. আপেক্ষিক তাপ (Specific heat) : বস্তু কর্তৃক গৃহীত বা বর্জিত তাপের পরিমাণ জানিতে হইলে পদার্থের তিনটি বিষয় সম্পর্কে জানা দরকার। ইহাদের **তাপ নির্ণায়ক উৎপাদক** (heat determining factors) বলে। ইহারা হইল, **বস্তুর ভর, তাপমাত্রার পরিবর্তন** ও উপাদানের প্রকৃতিগত বিশেষ বৈশিষ্ট্য—**আপেক্ষিক তাপ**।

তাপের পরিমাণ পদার্থের ভরের উপর নির্ভরশীল। এক লিটার জলে সাধারণ ঘরের তাপমাত্রা হইতে স্ফুটনাঙ্কে আনিতে যতটা তাপ দেওয়ার প্রয়োজন, পাঁচ লিটার জলের ক্ষেত্রে অনুরূপ ঘটনায় পাঁচগুণ বেশী তাপ লাগে। অর্থাৎ, বস্তুর মোট তাপশক্তি উহার ভরের সমানুপাতিক।

আবার, বস্তুর তাপশক্তি বৃদ্ধি করিতে হইলে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা দরকার বা বিপরীতক্রমে, তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে বস্তুর তাপশক্তির পরিমাণ বৃদ্ধি পাইবে। বস্তুর ভর স্থির থাকিলে তাপশক্তির বৃদ্ধি বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধির সমানুপাতিক। এক কেটলী জলকে $20°C$ হইতে $50°C$-এ উন্নীত করিতে

যে তাপের প্রয়োজন, উহাকে $20°C$ হইতে $80°C$-এ উন্নীত করিতে উহার দ্বিগুণ তাপ প্রয়োজন।

উপরি-উক্ত দুইটি বিষয় ছাড়াও বস্তুর তাপশক্তি উপাদানের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল। একটি সাধারণ আলোচনা হইতে বিষয়টি ভাল করিয়া বুঝা যাইবে। একই ভরের বিভিন্ন ধাতব উপাদানের, ধরা যাক, লোহা, তামা, টিন ও সীসার চারিটি বল লওয়া হইল। এখন বল চারিটিকে লইয়া ফুটন্ত জলের মধ্যে বেশ কিছুক্ষণ রাখিয়া জলের তাপমাত্রায় আনা হইল। বলগুলিকে এবার একসঙ্গে তুলিয়া একচাক প্যারাফিন মোমের উপর একটু দূরে দূরে রাখা হইল। দেখা যাইবে, বলগুলি মোমের ভিতর বিভিন্ন গভীরতা পর্যন্ত ঢুকিয়াছে। লোহার বল সর্বাপেক্ষা বেশী ও সীসার বল সর্বাপেক্ষা কম দূরত্বে গিয়াছে। এক্ষেত্রে, বলগুলির ভর এবং প্রাথমিক ও চূড়ান্ত তাপমাত্রার (মোমের গলনাঙ্ক) পার্থক্য এক হওয়া সত্ত্বেও তাহারা বিভিন্ন পরিমাণ তাপ বর্জন করিয়াছে। অন্যভাবে, ইহারা ফুটন্ত জল হইতে বিভিন্ন পরিমাণ তাপ সংগ্রহ করিয়া একই তাপমাত্রায় উন্নীত হইয়াছে। পদার্থের যে ধর্মের ফলে ভর ও তাপমাত্রা বৃদ্ধি এক হওয়া সত্ত্বেও তাপের পরিমাণ বিভিন্ন হইয়াছে, তাহাকে পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে। যে পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বেশী, তাহা সমভরসম্পন্ন অন্য পদার্থ অপেক্ষা একই তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য বেশী তাপ গ্রহণ করে এবং তাপমাত্রা হ্রাসের জন্য বেশী তাপ বর্জনও করে। উপরি-উক্ত পরীক্ষায়, লোহার আপেক্ষিক তাপ সর্বাপেক্ষা বেশী ও সীসার সর্বাপেক্ষা কম।

আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা হিসাবে বলা হয়, **কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ হইল উহার কোন নির্দিষ্ট ভরের নির্দিষ্ট তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ ও সমভরসম্পন্ন জলের সমান তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপের অনুপাত।** আপেক্ষিক তাপকে S দ্বারা সূচিত করিলে লেখা যায়,

$$S=\frac{\text{পদার্থের নির্দিষ্ট ভরের } t° \text{ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{সমভর জলের } t° \text{ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}$$

$$=\frac{\text{পদার্থের একক ভরের } 1° \text{ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{একক ভরের জলের } 1° \text{ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}$$

সি. জি. এস.-পদ্ধতি অনুসারে, 1 গ্রাম জলের $1°C$ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য 1 ক্যালরী তাপ লাগে। সুতরাং, **কোন পদার্থের 1 গ্রাম ভরের $1°C$ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যত ক্যালরি তাপ লাগে, সেই সংখ্যাটিই**

হইল ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ। এই সংজ্ঞা অনুসারে, আপেক্ষিক তাপ একটি সংখ্যা মাত্র, ইহার কোন একক নাই। লোহার আপেক্ষিক তাপ ·1045 বলিতে বুঝায় যে, 1 গ্র্যাম লোহাকে $1°C$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে ·1045 ক্যালরি তাপ দরকার।

আপেক্ষিক তাপের বর্তমানে বহুল ব্যবহৃত সংজ্ঞাটি নিম্নরূপ। আমরা জানি, পদার্থের তাপশক্তি, ভর ও তাপমাত্রা বৃদ্ধির সমানুপাতিক। সুতরাং, m ভরসম্পন্ন কোন পদার্থকে H পরিমাণ তাপ দিলে যদি উহার তাপমাত্রা $t°$ বৃদ্ধি পায় তবে, $H \propto m$, যখন t অপরিবর্তিত থাকে,

আবার, $H \propto t$, যখন m অপরিবর্তিত থাকে,

$\therefore$ $H \propto m.t$ যখন t এবং m উভয়েই পরিবর্তিত হয়।

বা, $H = S.mt$, এখানে S=ভেদের ধ্রুবক।

যখন, $m=1$, $t=1$, তখন $S=H$, অর্থাৎ **কোন পদার্থের একক ভরের একক তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যত একক তাপ প্রয়োজন, তাহাই ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ।** এই সংজ্ঞা অনুসারে, আপেক্ষিক তাপের একক আছে। এখানে কোন নির্দিষ্ট পদার্থকে মানক (standard) হিসাবে ধরা হয় নাই।

সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে আপেক্ষিক তাপের একক ক্যালরি/গ্র্যাম/$°C$ ($cals/gm/°C$) এবং এফ. পি. এস.-পদ্ধতিতে আপেক্ষিক তাপের একক বৃটিশ থার্মাল একক/পাউণ্ড/$°F$ ($B.Th.U/lb/°F$)।

5.4. বস্তু কর্তৃক গৃহীত বা বর্জিত তাপ (Amount of heat gained or lost by a body):

কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হইলে উহার m গ্র্যাম ভরের তাপমাত্রা বৃদ্ধি যদি $t°C$ হয়, তবে বস্তু কর্তৃক গৃহীত তাপের পরিমাণ H ধরিলে আমরা আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা হইতে লিখিতে পারি, $H = mst$ ক্যালরি।

অনুরূপে, $t°C$ তাপমাত্রা হ্রাসের জন্য বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপের পরিমাণ $H = mst$ ক্যালরি। উক্ত বস্তুর প্রাথমিক তাপমাত্রা $t_1°C$ এবং চূড়ান্ত তাপমাত্রা $t_2°C$ হইলে, $t = t_2 - t_1$

সুতরাং বস্তু কর্তৃক গৃহীত বা বর্জিত তাপের পরিমাণ $H = ms(t_2 - t_1)$ ক্যালরি। অর্থাৎ, **বস্তু কর্তৃক গৃহীত বা বর্জিত তাপ=বস্তুর ভর × আপেক্ষিক তাপ × তাপমাত্রার পার্থক্য।**

5.5. বস্তুর তাপগ্রাহিতা ও জলসম (Thermal capacity and water equivalent of a body) :

কোন বস্তুর 1° তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজনীয় তাপকে বস্তুর তাপ-ধারকত্ব বা তাপগ্রাহিতা বলে।

কোন বস্তুর 1° তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন, তাহা যে পরিমাণ জলের 1° তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিবে, সেই পরিমাণ জলকে ঐ বস্তুর জলসম বলে।

সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে m গ্রাম ভরের ও s আপেক্ষিক তাপের পদার্থের $1°C$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে ms ক্যালরি (এখানে $t=1$) তাপ প্রয়োজন। সুতরাং উক্ত বস্তুর তাপগ্রাহিতা$=ms$ ক্যালরি।

সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে জলের আপেক্ষিক তাপ$=1\ cal/gm/°C$ অর্থাৎ, 1 ক্যালরি তাপ 1 গ্রাম জলকে $1°C$ উষ্ণ করে। সুতরাং ms ক্যালরি তাপ ms গ্রাম জলকে $1°C$ উষ্ণ করিবে। সংজ্ঞা অনুযায়ী, উক্ত বস্তুর জলসম$=$ ms গ্রাম।

তাপগ্রাহিতাকে C এবং জলসমকে W দ্বারা সূচিত করিলে, উহাদের সংজ্ঞা অনুযায়ী, $C=ms$ ক্যালরি এবং $W=ms$ গ্রাম।

দেখা যাইতেছে, উহাদের সংখ্যাগত মান এক, কিন্তু উহাদের একক বিভিন্ন। যেহেতু, তাপগ্রাহিতা, ভর ও আপেক্ষিক তাপের গুণফলকে বুঝায়, সেহেতু, আপেক্ষিক তাপকে বস্তুর একক ভরের তাপগ্রাহিতা বলিতে পারা যায়।

কোন বস্তুর জলসম বলিতে বুঝায়, ঐ বস্তুর পরিবর্তে কত পরিমাণ জল কল্পনা করিলে তাপশক্তির গ্রহণ বা বর্জনের হিসাবের ক্ষেত্রে কোন ভুল হয় না। ঐ পরিমাণ জলকে ঐ বস্তুর তুল্যাঙ্ক (equivalent) বলা যাইতে পারে। তবে ইহা কেবলমাত্র ক্যালরিমিতিতেই প্রযোজ্য। কোন ক্যালরিমিটারের জলসম W গ্রাম বলিলে ঐ ক্যালরিমিটারের পরিবর্তে W গ্রাম জল ধরিয়া হিসাব করিতে পারি।

5.6. ক্যালরিমিতির মূলনীতি (Fundamental principle of Calorimetry) :

দুইটি ভিন্ন তাপমাত্রার বস্তুকে পরস্পরের সংস্পর্শে আনিলে উহাদের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান হয়। উচ্চ তাপমাত্রাসম্পন্ন বস্তু নিম্ন-তাপমাত্রার বস্তুকে তাপ প্রদান করে এবং চূড়ান্তভাবে বস্তুদ্বয় মধ্যবর্তী একটি তাপমাত্রায় পৌছায়।

ক্যালরিমিতির মূলনীতি হইল, অন্যভাবে তাপ ব্যয়িত না হইলে অর্থাৎ তাপের আদান-প্রদান সংশ্লিষ্ট বস্তু দুইটির মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকিলে, একটি বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ অপর বস্তু কর্তৃক গৃহীত তাপের সমান।

দেখা যাইতেছে, ক্যালরিমিতির মূলনীতি আদর্শ অবস্থার ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। প্রকৃতপক্ষে, এই আদর্শ অবস্থা সৃষ্টি না করিলে, বর্জিত তাপ=গৃহীত তাপ, এই নীতি খাটিবে না। এজন্য বিশেষ সতর্কতা দরকার। ক্যালরিমিটারের ভিতর তাপ আদান-প্রদানকারী বস্তুদ্বয়কে সংস্পর্শে আনা হয়। তাপ যাহাতে পরিবহন, পরিচলন এবং বিকিরণের মাধ্যমে অন্যত্র ব্যয়িত না হয় এজন্য অপরিবাহী পদার্থ দ্বারা ক্যালরিমিটারকে আবৃত করা, গাত্র চকচকে করা ইত্যাদি পদ্ধতি অবলম্বন করা একান্ত প্রয়োজন। সংশ্লিষ্ট বস্তুদ্বয়ের মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটিলে তাপের শোষণ বা বর্জন হইতে পারে এবং যেহেতু এই তাপ ক্যালরিমিতির মূলনীতিকে ব্যাহত করে এজন্য রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটিতে পারে এইরূপ বস্তু নির্বাচন করিলে চলিবে না।

ক্যালরিমিটারে ব্যবহৃত তরল নির্বাচনেও সতর্কতা অবলম্বন করা উচিত। সহজলভ্যতার জন্য ক্যালরিমিটারে সাধারণত জল ব্যবহার করা হয়। কিন্তু জলের আপেক্ষিক তাপ অন্যান্য তরল অপেক্ষা অনেক বেশী। এ কারণে, তাপমাত্রাবৃদ্ধি অধিক হয় না—ফলে তাপমাত্রার পাঠে ভুল বেশী হওয়ার সম্ভাবনা থাকে।

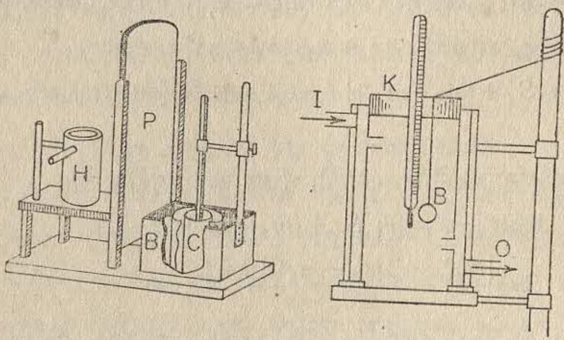
তাপের আদান-প্রদান সংঘটনের পূর্বে বস্তুকে স্থির তাপমাত্রায় আনাও একান্ত দরকার। তাপমাত্রার বিচারে বস্তুগুলি অসাম্যে অবস্থান করিলে উহাদের সঠিক প্রাথমিক পাঠ পাওয়া যায় না—সুতরাং ভুল হইবার সম্ভাবনা থাকে।

5.7. মিশ্রণ-পদ্ধতিতে পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় (Determination of the specific heat of matter by the method of mixture) :

কোন কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় সাধারণত রেনোর পদ্ধতিতে (Regnault's method) করা হয়। নিম্নে যন্ত্রটির সংক্ষিপ্ত বিবরণ দেওয়া হইল।

যন্ত্রের বিবরণ : যন্ত্রটির দুইটি অংশ—একটি অংশ একটি স্টীম প্রকোষ্ঠ H এবং অপর অংশ একটি ক্যালরিমিটার C (চিত্র 5.1)। স্টীম প্রকোষ্ঠটি

দুইটি ধাতব চোঙের সমন্বয়—চোঙ দুইটির নিম্নাংশ জোড়া। চোঙ দুইটির মধ্যস্থিত ফাঁকের ভিতর দিয়া স্টীম চালনা করিয়া বস্তুকে উষ্ণ করা হয়। চোঙের উপর দিকে একটি প্রবেশ পথ I এবং O নীচের দিকে নির্গম পথ O (চিত্র 5.1b) আছে। চোঙের মুখে লাগান কর্কের ছিপির মধ্যদিয়া সূতার সাহায্যে বস্তুটি (B) চোঙের মধ্যে ঝুলান হয় এবং অপর একটি ছিদ্র দিয়া থার্মোমিটার ঢুকাইয়া প্রকোষ্ঠের তাপমাত্রা মাপা হয়। বেশ কিছুক্ষণ ধরিয়া স্টীম চালনা করিলে বস্তুটি স্টীমের তাপমাত্রায় আসে। C ক্যালরিমিটারটি একটি অপরি-



(a) (b)

চিত্র 5.1

বাহী পাত্র B-এর ভিতর রাখা হয় এবং পরিবহন বন্ধ করিবার জন্য উহাদের মধ্যবর্তী স্থান অপরিবাহী ফেল্ট দ্বারা পূর্ণ করা হয় (চিত্র 5.1a)। ক্যালরিমিটার যাহাতে সরাসরি স্টীম প্রকোষ্ঠ হইতে কোন তাপ পাইতে না পারে এজন্য উভয়ের মাঝখানে একটি কাঠের পার্টিশান (P) থাকে। পার্টিশান সরাইয়া ক্যালরিমিটার C-কে সরাসরি প্রকোষ্ঠের নীচে ঘুরাইয়া আনা যায়। ইহাতে অতি দ্রুত পরীক্ষাধীন বস্তুকে ক্যালরিমিটারের তরলে ফেলিয়া দেওয়া যায়।

কার্যপ্রণালী ও গণনা: পরীক্ষাধীন কঠিন পদার্থটি তুলাদণ্ডে ওজন করিয়া স্টীম প্রকোষ্ঠে উত্তপ্ত করিবার জন্য রাখা হইল। মনে করি, বস্তুখণ্ডটির ওজন M গ্র্যাম। আলোড়কসহ শূন্য ক্যালরিমিটারটি অতঃপর ওজন করা হইল এবং ধরা যাক এই ওজন m_1 গ্র্যাম। কিছু পরিমাণ জল বা অন্য কোন তরল (যেমন তেল) লইয়া পুনরায় উহাকে ওজন করা হইল এবং এই ওজন যেন m_2 গ্র্যাম। উহাদের প্রাথমিক তাপমাত্রা t_1°C।

বস্তুটি ইতিমধ্যে স্টীম প্রকোষ্ঠের তাপমাত্রায় স্থির হইলে উহার তাপমাত্রা থার্মোমিটারে দেখা হইল এবং উহা মনে করি, t_2°C। বস্তুটি ক্যালরিমিটারে

তরলের মধ্যে ফেলিয়া আলোড়কের সাহায্যে তরলটি নাড়া হইল। অতঃপর থার্মোমিটারের সাহায্যে মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা (t°C) নির্ণয় করা হইল।

এখন, বস্তুটির তাপমাত্রা হ্রাস$=(t_2-t)$ সেলসিয়াস ডিগ্রী

বস্তুটির উপাদানের আপেক্ষিক তাপ S ধরিলে, বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ$=$ $MS(t_2-t)$ ক্যালরি।

ক্যালরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ S_1 হইলে, উহার জলসম$=$ m_1S_1 গ্রাম।

ক্যালমিটারে তরলের ভর$=(m_2-m_1)$ গ্রাম। উহার আপেক্ষিক তাপ s হইলে, ক্যালরিমিটার ও তরলকর্তৃক গৃহীত তাপ

$=\{m_1S_1+(m_2-m_1)s\}(t-t_1)$ ক্যালরি [তাপমাত্রা বৃদ্ধি$=(t-t_1)$C ডিগ্রী]

ক্যালরিমিতির নীতি অনুযায়ী, বর্জিত তাপ$=$গৃহীত তাপ

$$\therefore\quad MS(t_2-t)=\{m_1S_1+(m_2-m_1)s\}(t-t_1)$$

$$\therefore\quad S=\frac{\{m_1S_1+(m_2-m_1)s\}(t-t_1)}{M(t_2-t)}$$

S_1 এবং s জানা থাকিলে ডানপক্ষের অপর রাশিগুলি পরীক্ষার সাহায্যে বাহির করিয়া বস্তুটির উপাদানের আপেক্ষিক তাপ (S)-এর মান উপরি-উক্ত সম্পর্ক হইতে বাহির করা যায়।

ত্রুটি ও সাবধানতা :

(i) পরীক্ষাধীন বস্তুকে স্টীম প্রকোষ্ঠ হইতে দ্রুত ক্যালরিমিটারে ফেলা উচিত—নতুবা বিকিরণের জন্য কিছু তাপ ব্যয়িত হয়।

(ii) পরিবহন, পরিচলন ও বিকিরণের জন্য ক্যালরিমিটার হইতে কিছু তাপ অন্যত্র সঞ্চালিত হয়। এ বিষয়ে সাবধানতার জন্য ক্যালরিমিটারটি উত্তমরূপে অপরিবাহী পদার্থ দ্বারা আচ্ছাদিত করা দরকার। বিকিরণজনিত তাপক্ষয় রোধ করিবার জন্য ক্যালরিমিটারের তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা ঘরের তাপমাত্রার নীচে এমনভাবে আনা দরকার যাহাতে ঘরের তাপমাত্রা ক্যালরিমিটারের প্রাথমিক ও চূড়ান্ত তাপমাত্রার মাঝামাঝি হয়। ইহাতে ক্যালরিমিটারে বিকিরণজনিত লব্ধ ও বর্জিত তাপ মোটামুটি একই হয়।

(iii) ক্যালরিমিটারের তরল ও বস্তু নির্বাচনে লক্ষ্য রাখিতে হইবে যাহাতে উভয়ের মধ্যে কোন রাসায়নিক বিক্রিয়া না ঘটে। উপরন্তু, বস্তুটি যেন তরলে অদ্রবণীয় হয়।

(iv) তাপমাত্রার পাঠ সঠিক হওয়া দরকার। থার্মোমিটার এক ডিগ্রীর দশভাগের একভাগ পর্যন্ত সঠিকভাবে নির্ণয় করিতে সক্ষম হইলে ভাল হয়।

(v) বস্তুকে ক্যালরিমিটারে স্থানান্তরিত করিবার কালে লক্ষ্য রাখিতে হইবে যাহাতে তরলের কোন অংশ ছিটকাইয়া বাহিরে না যায়।

5.7a. তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় :

মিশ্রণ-পদ্ধতিতে যে-কোন তরলের আপেক্ষিক তাপও নির্ণয় করা যায়। পূর্বোক্ত পরীক্ষায় কঠিন বস্তুর উপাদানের আপেক্ষিক তাপ (S) জানা থাকিলে, ক্যালরিমিটারের তরলের আপেক্ষিক তাপ (s) একই সম্পর্ক হইতে বাহির করা যায়। ক্যালরিমিটারের তরল ইচ্ছামত পরিবর্তন করিয়া যে-কোন তরলের আপেক্ষিক তাপ বাহির করা সম্ভব।

5.7b. ক্যালরিমিতির প্রয়োগে উচ্চ তাপমাত্রা নির্ণয় :

ক্যালরিমিতির সাহায্যে যে-কোন উচ্চমানের তাপমাত্রা নির্ণয় করা সম্ভব। সাধারণ থার্মোমিটার 100°C পর্যন্ত পাঠক্রম হইলেও ইহার সাহায্যে ইহার অধিক তাপমাত্রা নির্ণয় করা যায়। ধরা যাক, কোন চুল্লী বা অগ্নি-শিখার তাপমাত্রা 500°C। এখন জানিত আপেক্ষিক তাপসম্পন্ন কোন কঠিন বস্তুকে (বস্তুটির গলনাঙ্ক 500°C-এর বেশী হওয়া দরকার) ঐ তাপমাত্রায় উষ্ণ করিয়া মিশ্রণ-পদ্ধতি প্রয়োগ করিতে হইবে। ক্যালরিমিটারে তরলের পরিমাণ এমন হওয়া উচিত যাহাতে চূড়ান্ত তাপমাত্রা 100°C-এর নীচে হয়। এরূপ ক্ষেত্রে, মিশ্রণ-পদ্ধতির শেষ সমীকরণের (article 5·7) সাহায্যে বস্তুর প্রাথমিক তাপমাত্রা অর্থাৎ চুল্লীর তাপমাত্রা সহজে বাহির করা যায়।

5.7c. কতকগুলি সাধারণ পদার্থের আপেক্ষিক তাপের তালিকা :

পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ	পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ
অ্যালুমিনিয়াম	0·212 হইতে 0·287	পিতল	0·089
লোহা	0·1045	তামা	0·091
সীসা	0·0310	কাচ	0·12 হইতে 0·16
টিন	0·054	বরফ	0·502
রূপা	0·056	মার্বেল	0·21 হইতে 0·22
সোনা	0·0303	দস্তা	0·106
অ্যালকোহল	0·547	তার্পিনতেল	0·42

5.8. জলের আপেক্ষিক তাপ (Specific heat of water) :

জলের আপেক্ষিক তাপ 1 ধরা হয় এবং ইহার তুলনায় অন্য সমস্ত পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বিচার করা হয়। জলের আপেক্ষিক তাপ অন্য সমস্ত পদার্থ হইতে বেশী। এ কারণে, জল সমভরসম্পন্ন অন্য যে-কোন পদার্থ অপেক্ষা বেশী তাপ গ্রহণ বা বর্জন করিয়া সমপরিমাণ তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাস ঘটায়। পৃথিবীর তিন-চতুর্থাংশ ব্যাপিয়া বিরাট জলরাশি এবং এই জলরাশিতে বিপুল পরিমাণ তাপশক্তি সঞ্চিত আছে। জলের উচ্চ আপেক্ষিক তাপের জন্য ইহা শীতলীকরণে ব্যবহার করা হয়। অন্যদিকে, গরম জলের ব্যাগ, শীতপ্রধান দেশে বাড়ী-ঘর গরম রাখার কাজেও ইহা ব্যবহৃত হয়। জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি অপেক্ষাকৃত কম হওয়ার কারণে সমুদ্র বা নদীতীরবর্তী স্থলভাগ নাতিশীতোষ্ণ থাকে।

5.9. আপেক্ষিক তাপের পরিবর্তন (Change of specific heat) :

নিম্নোক্ত কয়েকটি বিষয়ের উপর পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ভরশীল।

(i) **তাপমাত্রা :** সাধারণভাবে ক্যালরিমিতির গণনায় আমরা জলের আপেক্ষিক তাপ 1 ধরি। কিন্তু সূক্ষ্মভাবে দেখিলে তাহা সঠিক নহে। তাপমাত্রার সহিত জলের আপেক্ষিক তাপ পরিবর্তিত হয়। $37{\cdot}5°C$ তাপমাত্রায় ইহার মান সর্বনিম্ন (প্রায় 0·9973)। $0°C$ তাপমাত্রায় জলের আপেক্ষিক তাপ 1·00874 এবং $100°C$ তাপমাত্রায় 1·00645। $15°C$ এবং $65°C$-এ ইহার মান 1·00000.

কেবলমাত্র জলের ক্ষেত্রে নহে, অন্য সমস্ত পদার্থের ক্ষেত্রেও আপেক্ষিক তাপ তাপমাত্রার সহিত পরিবর্তন করে—সাধারণভাবে, আপেক্ষিকতাপ তাপমাত্রার সহিত বৃদ্ধি পায়। সাধারণ তাপমাত্রায় তাপমাত্রার সহিত আপেক্ষিক তাপের সম্পর্ক নিম্নোক্ত সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়।

$S=a+bt^2$, এখানে a এবং b ধ্রুবক।

বিভিন্ন পদার্থের ক্ষেত্রে a এবং b-র মান বিভিন্ন। কার্বন ইত্যাদি কয়েকটি পদার্থের ক্ষেত্রে পরিবর্তনের হার অত্যন্ত বেশী।

(ii) **পদার্থের অবস্থা :** সাধারণ হিসাবে বলা যায়, তরল অবস্থায় পদার্থের আপেক্ষিক তাপ সর্বাপেক্ষা বেশী। ধাতব পদার্থের অবস্থান্তরে আপেক্ষিক তাপ উল্লেখজনকভাবে পরিবর্তিত হয়। জলের ক্ষেত্রে আপেক্ষিক তাপ যেখানে প্রায় 1, বরফের ক্ষেত্রে এই মান 0·502। কঠিন অবস্থায় সীসার আপেক্ষিক তাপ 0·0310, তরল সীসার ক্ষেত্রে এই মান 0·0402।

(iii) **মিশ্রণ ও অপদ্রব্যের উপস্থিতি :** পদার্থ বিশুদ্ধ অবস্থায় না থাকিলে আপেক্ষিক তাপের পরিবর্তন ঘটে। $16°$ হইতে $30°C$ তাপমাত্রার মধ্যে বিশুদ্ধ অ্যালকোহলের আপেক্ষিক তাপ 0·601, কিন্তু 10% জলীয় দ্রবণে ইহার মান 1·032 হইতে 1·046-র মধ্যে হয়।

উদাহরণ : (1) নিম্নলিখিত দুইটি ক্ষেত্রে কোন্‌টিতে বেশী তাপ লাগিবে নির্ণয় কর :

(a) 1 কিলোগ্রাম জলকে $30°C$ হইতে $100°C$ পর্যন্ত উষ্ণ করিতে,

(b) 3 পাউণ্ড জলকে $92°F$ হইতে $212°F$ পর্যন্ত উষ্ণ করিতে।

(1 বৃ. থা. এ. = 252 ক্যালরি) [H. S. 1965]

উত্তর : আমরা জানি, প্রয়োজনীয় তাপ = ভর × আপেক্ষিক তাপ × তাপমাত্রার পার্থক্য।

প্রথম ক্ষেত্রে প্রয়োজনীয় তাপ, $H_1 = 1000 \times 1 \times (100-30)$
$= 70,000$ ক্যালরি

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে প্রয়োজনীয় তাপ, $H_2 = 3 \times 1 \times (212-92)$
$= 360$ বৃ. থা. এ.
$= 360 \times 252 = 90,720$ ক্যালরি

দেখা যাইতেছে, $H_2 > H_1$

∴ **দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বেশী তাপ লাগিবে।**

(2) 200 গ্র্যাম ভরের একখণ্ড সীসাকে $100°C$ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিয়া তরলপূর্ণ একটি পাত্রে ফেলা হইল। ঐ তরলের ওজন 200 গ্র্যাম এবং আপেক্ষিক তাপ 0·5 ; যদি তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা $0°C$ হয় তবে উহার চূড়ান্ত তাপমাত্রা নির্ণয় কর। সীসার আপেক্ষিক তাপ = ·03. [H. S. 1960]

উত্তর : মনে করি, চূড়ান্ত তাপমাত্রা $= t°C$

∴ সীসাখণ্ড কর্তৃক বর্জিত তাপ $= 200 \times \cdot 03 \times (100-t)$ ক্যালরি
$= 6(100-t)$ ক্যালরি

তরলকর্তৃক গৃহীত তাপ $= 200 \times 0\cdot 5(t-0)$
$= 100\,t$ ক্যালরি

যেহেতু, বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

$\therefore\ 6(100-t) = 100t$

বা, $106t = 600$

বা, $t = \frac{600}{106} = 5\cdot 66°C$

(3) A, B এবং C তিনটি ভিন্ন তরলের তাপমাত্রা যথাক্রমে 15°C, 25°C এবং 35°C ; সমভর A এবং B তরল মিশাইলে, মিশ্রণের তাপমাত্রা 21°C হয়। আবার সমভর B এবং C তরল মিশাইলে মিশ্রণের তাপমাত্রা 32°C হয়। প্রমাণ কর, A এবং C তরলের আপেক্ষিক তাপের অনুপাত 2 : 7. [H. S. 1966]

উত্তর : মনে করি, তরল তিনটির আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে S_A, S_B এবং S_C. এবং প্রত্যেকটি তরলের m গ্র্যাম করিয়া লওয়া হইয়াছে।

এখন, A এবং B-এর মিশ্রণে, A কর্তৃক গৃহীত তাপ

$$=m\,S_A(21-15)=6mS_A \text{ ক্যালরি}$$

$$B \text{ কর্তৃক বর্জিত তাপ}=m\,S_B(25-21)=4m\,S_B \text{ ক্যালরি}$$

$$\therefore\ 6m\,S_A=4m\,S_B$$

$$\text{বা, } S_B=\frac{3}{2}\,S_A \cdots\cdots (1)$$

আবার, B এবং C-র মিশ্রণে,

$$B \text{ কর্তৃক গৃহীত তাপ}=m\,S_B(32-25)=7m\,S_B \text{ ক্যালরি}$$

$$\text{এবং } C \text{ কর্তৃক বর্জিত তাপ}=m\,S_C(35-32)=3m\,S_C \text{ ক্যালরি}$$

$$\therefore\ 7m\,S_B=3m\,S_C$$

$$\text{বা, } S_B=\frac{3}{7}\,S_C \cdots\cdots (2)$$

$$(1) \text{ এবং } (2) \text{ হইতে, } \frac{3}{2}\,S_A=\frac{3}{7}\,S_C$$

$$\text{বা, } S_A : S_C=2:7 \text{ (প্রমাণিত)।}$$

প্রশ্নাবলী

1. ক্যালরিমিতি কাহাকে বলে ? তাপের বিভিন্ন এককগুলি বল এবং উহাদের সম্পর্ক নির্দেশ কর। আপেক্ষিক তাপ কাহাকে বলে ? উহার একক কি ? বিভিন্ন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বিভিন্ন, তাহা কিরূপে দেখাইবে ?

[What is calorimetry ? State different units of heat and find their relations. What is specific heat ? State its units. How do you show that different substances have different specific heats ?]

2. বস্তুর তাপ-গ্রাহিতা ও জলসম কাহাকে বলে? উহাদের মধ্যে পার্থক্য কি? ক্যালরিমিতির মূলনীতি কি? উহার প্রয়োগের সীমা নির্দেশ কর।

[What do you mean by thermal capacity and water equivalent of a body? Find their difference. What is the fundamental principle in calorimetry? State its limitations of application.]

3. মিশ্রণ-পদ্ধতিতে একটি কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ কিরূপে নির্ণয় করা হয় তাহা বর্ণনা কর। এই পরীক্ষায় ত্রুটিগুলি বল এবং উহা কিরূপে দূর করা যায় তাহা আলোচনা কর।

[Describe the method of mixture to determine the specific heat of a solid. State the sources of errors in this method and explain how these errors can be eliminated.]

4. ক্যালরিমিতির প্রয়োগে কোন চুল্লীর উচ্চমানের তাপমাত্রা নির্ণয় কিরূপে সম্ভব তাহা আলোচনা কর।

জলের উচ্চ আপেক্ষিক তাপ হইবার সুবিধা কি? পদার্থের আপেক্ষিক তাপ কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভরশীল?

[Discuss how the high temperature of a furnace can be determined with the help of calorimetry.

What is the advantage of high specific heat of water? On what factors does the specific heat of a substance depend?]

5. 400 সি. সি. জল সর্বোচ্চ ঘনত্বে আছে। উহাকে কত তাপ দিলে উহা স্ফুটনাঙ্কে (100°C) পৌঁছিবে?

[How much heat must be imparted to 400 c. c. of water at its maximum density before it begins to boil?]

[Ans. 384,00 Cals.]

6. 18·5°C তাপমাত্রায় ক্যালরিমিটারে 110 গ্রাম জলের সহিত 35°C তাপমাত্রার 100 গ্রাম জল মেশান হইল এবং মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা 25°C দেখা গেল। ক্যালরিমিটারের জলসম নির্ণয় কর।

[100 gms. of water at 35°C are added to 110 gms. of water at 18·5°C in a calorimeter and the final temperature of the mixture is found to be 25°C. Determine the water equivalent of the calorimeter.]

[Ans. 43·846 gms

7. একটি 250 গ্র্যাম প্ল্যাটিনাম বল জলন্ত চুল্লী হইতে 0°C তাপমাত্রায় 200 গ্র্যাম জলে ফেলা হইল। জলের তাপমাত্রা বাড়িয়া 30°C হইলে, চুল্লীর তাপমাত্রা কত? (প্ল্যাটিনামের আপেক্ষিক তাপ = 0·031)

[A platinumball whose mass is 250 gms is removed from a furnace and immersed in 200 gms of water at 0°C. The temperature of the water rises to 30°C. Find the temperature of the furnace, given specific heat of platinum =0·031]

[Ans. 804·2°C]

8. একটি ঘরে 15°C তাপমাত্রায় 30 লিটার বাতাস আছে (বাতাসের আপেক্ষিক তাপ=0·2375)। এক লিটার বাতাসের ভর 1·29 গ্র্যাম হইলে, ঘরের তাপমাত্রা 30°C করিতে কত তাপের প্রয়োজন?

[A room contains 30 litres of air ot 15°C (Sp. heat= 0·2375) weigheing 1·29 gm. per litre. What heat is required to raise the temperature of the room to 30°C ?]

[Ans. 137·86 cals.]

9. একটি লোহার পাত্রে 25°C তাপমাত্রায় 100 গ্র্যাম জল আছে। 60°C তাপমাত্রার 50 গ্র্যাম জল ঐ পাত্রে ঢালা হইল এবং মিশ্রণের তাপমাত্রা 35°C হইল। বিকিরণ বা অন্য কোন উপায়ে তাপক্ষয় না হইলে পাত্রের জলসম নির্ণয় কর। পাত্রের ওজন 238 গ্র্যাম হইলে লোহার আপেক্ষিক তাপ কত?

[H. S. 1960]

[An iron vessel contains 100 gms. of water at 25°C. 50 gms. of water at 60°C are poured into the pan and the resultant temperature is found to be 35°C. Calculate the water equivalent of the vessel assuming no heat is lost by radiation or otherwise. If the mass of vessel be 238 gms. what is the Sp. heat of iron ?]

[Ans. 25 gms, 0·105]

10. দুইটি পদার্থের ঘনত্বের অনুপাত 2 : 3 এবং তাহাদের আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে 0·12 এবং 0·09 হইলে একক আয়তনে তাহাদের তাপ-গ্রাহিতার অনুপাত বাহির কর।

[The densities of two substances are as 2 : 3 and their specific heats are 0·12 and 0·09 respectively. Compare their thermal capacities per unit volume]

[Ans. 8 : 9]

ষষ্ঠ অধ্যায়

অবস্থা পরিবর্তন (Change of State)

6.1. সূচনা (Introduction) : দৈনন্দিন জীবনে আমরা বহুবিধ পদার্থের সংস্পর্শে আসিয়া থাকি। যেমন, জল, বায়ু, মাটি, কাঠ, লোহা, পারদ, তামা ইত্যাদি। ইহাদের কাহাকেও **কঠিন** (মাটি, কাঠ, লোহা, তামা), কাহাকেও **তরল** (জল, পারদ) আবার কাহাকেও-বা **গ্যাসীয়** (বায়ু) পদার্থ বলিয়া থাকি। অর্থাৎ, পদার্থ তিনটি ভৌত অবস্থায় থাকিতে পারে। কখনও কখনও একই পদার্থ কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়—তিন অবস্থাতেই থাকিতে পারে। যেমন, জল সাধারণ উষ্ণতায় একটি তরল পদার্থ। তাপমাত্রা কমাইয়া ইহাকে বরফে পরিণত করা যায়। বরফ একটি কঠিন পদার্থ। আবার জল ফুটাইয়া বাষ্প পাওয়া যায়। ইহা একটি গ্যাসীয় পদার্থ। সাধারণতঃ তাপপ্রয়োগ করিয়া কঠিন পদার্থকে তরলে ও তরলকে গ্যাসে পরিণত করা যায়। বিপরীতক্রমে, ঠাণ্ডা করিয়া গ্যাসকে তরলে ও তরলকে কঠিনে পরিণত করা সম্ভব।

পদার্থের এক অবস্থা হইতে অন্য অবস্থায় পরিবর্তনকে পদার্থের অবস্থা পরিবর্তন (Change of state of matter) বলে। সকল কঠিন পদার্থকেই তাপপ্রয়োগ করিয়া তরলে পরিণত করা যায় না। যেমন, কাঠ, কাগজ, মাটি ইত্যাদি। কাঠ, কাগজ তাপপ্রয়োগের ফলে পুড়িয়া যায়। কর্পূর বা আয়োডিন তাপপ্রয়োগে তরলীভূত না হইয়া সরাসরি বাষ্পে পরিণত হয়। ইহাকে **ঊর্ধ্বপাতন** (sublimation) বলে। তবে উপযুক্ত পরিবেশে ইহাদেরও তরলে পরিণত করা সম্ভব।

তাপপ্রয়োগে কঠিন পদার্থের তরলে রূপান্তরকে গলন বা তরলীভবন (fusion or melting) বলে। একটি নির্দিষ্ট চাপে যে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কঠিন পদার্থ গলিতে শুরু করে, তাহাকে ঐ পদার্থের **গলনাঙ্ক** (melting point) বলে। গলনাঙ্ক বায়ুচাপের উপর নির্ভরশীল। সাধারণতঃ গলনাঙ্ক বলিতে এক বায়ুচাপে নির্ণীত গলনাঙ্ককে বুঝায়। ন্যাপথলিনের গলনাঙ্ক 80°C বলিলে বুঝিতে হইবে, এক বায়ুচাপে ন্যাপথলিন 80°C তাপমাত্রায় তরলে পরিণত হইতে শুরু করে। কঠিন পদার্থটি যতক্ষণ না পুরোপুরি তরলে পরিণত হয়, তাপ প্রয়োগ করা সত্ত্বেও পদার্থের তাপমাত্রা গলনাঙ্কে স্থির থাকে।

বিপরীতভাবে, **তাপ নিষ্কাশনের ফলে তরল পদার্থের কঠিনে পরিবর্তিত হওয়াকে হিমায়ন (freezing) বা কঠিনীভবন (solidification) বলে।** একটি নির্দিষ্ট চাপে যে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় তরল জমিতে শুরু

করে তাহাকে তরলের **হিমাঙ্ক** (freezing point) বলে। গলনাঙ্কের ন্যায় হিমাঙ্কও বায়ুচাপের উপর নির্ভরশীল এবং উল্লেখ না থাকিলে হিমাঙ্ক বলিতে এক বায়ুচাপে নির্ণীত হিমাঙ্ককে বুঝায়। সাধারণতঃ কোন পদার্থের গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক সমান। যেমন, এক বায়ুচাপে জলের হিমাঙ্ক ও বরফের গলনাঙ্ক উভয়েই $0°C$। কিন্তু, কতকগুলি পদার্থের নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক বা হিমাঙ্ক নাই এবং দুই তাপমাত্রাও সমান নয়। উদাহরণস্বরূপ, কাচ, মাখন, মোম ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে।

তরল হইতে বায়বীয় অবস্থায় পরিবর্তিত হইবার প্রক্রিয়াকে **বাষ্পীভবন** (vaporisation) বলে। অনুরূপভাবে তাপমাত্রা কমাইবার ফলে গ্যাসীয় অবস্থা হইতে তরলে রূপান্তরিত হওয়াকে **ঘনীভবন** (condensation) বলে।

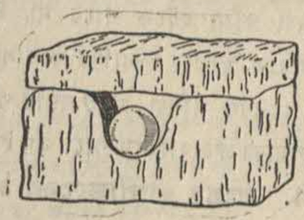
6.2. লীন তাপ (Latent heat) :

কোন বস্তু তাপ গ্রহণ বা বর্জন করিতেছে কি না তাহা আমরা বস্তুটির তাপমাত্রা হইতে বুঝিতে পারি। কিন্তু অবস্থা পরিবর্তনের সময় তাপ গ্রহণ বা বর্জন করা সত্ত্বেও বস্তুর তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন হয় না। যদি $-10°C$ তাপমাত্রায় এক টুকরা বরফকে তাপ প্রদান করা হয়, তাহা হইলে প্রথমে তাপমাত্রা ধীরে ধীরে বাড়িয়া ঐ বরফের গলনাঙ্ক $0°C$-এ আসিবে। বরফ যে তাপ গ্রহণ করিল তাহা তাপমাত্রার ঊর্ধ্বগতি দেখিয়া বোঝা গেল। এই তাপকে **বোধগম্য তাপ** (sensible heat) বলে। তাপ প্রদান অব্যাহত রাখিলে $0°C$-এ বরফ গলিতে শুরু করিবে ও যতক্ষণ না বরফ সম্পূর্ণরূপে গলিয়া যায় ততক্ষণ তাপমাত্রা স্থির থাকিবে। এইস্থলে, $0°C$-এ বরফ তাপ গ্রহণ করিয়া জলে পরিণত হইল অথচ তাপের কোন বাহ্যিক প্রকাশ হইল না। তেমনি, $0°C$-এ জলকে ঠাণ্ডা করিলে ইহা তাপ বর্জন করিয়া বরফে পরিণত হইবে অথচ যতক্ষণ না জল সম্পূর্ণরূপে বরফে পরিণত হয় ততক্ষণ তাপমাত্রা $0°C$-এই স্থির থাকিবে। অর্থাৎ, **অবস্থা পরিবর্তনের সময় পদার্থ কিছু পরিমাণ তাপগ্রহণ বা বর্জন করে, যাহার কোন বাহ্যিক প্রকাশ হয় না। এই তাপ গ্রহণ বা বর্জন থার্মোমিটারের সাহায্যে ধরা যায় না। এই তাপকে লীন তাপ বলে।** কোন পদার্থ কঠিন হইতে তরলে পরিবর্তিত হইবার সময় যে লীন তাপ গ্রহণ করে তাহাকে **গলনের লীন তাপ** (latent heat of fusion) বলে। তেমনি, তরল পদার্থ হইতে গ্যাসীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হইবার সময় যে লীন তাপ গ্রহণ করে তাহাকে **বাষ্পীভবনের লীন তাপ** (latent heat of vaporisation) বলে। বরফ

গলনের লীন তাপ প্রতি গ্র্যামে 80 ক্যালরি, অর্থাৎ 0°C-এ 1 গ্র্যাম বরফকে জলে পরিণত করিতে হইলে 80 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন। আবার, জলের বাষ্পীভবনের লীন তাপ প্রতি গ্র্যামে 537 ক্যালরি অর্থাৎ 100°C-এ 1 গ্র্যাম জলকে বাষ্পে পরিণত করিতে হইলে 537 ক্যালরি তাপ প্রদান করিতে হইবে।

6.3. বরফের লীনতাপ নির্ণয়ঃ

ব্ল্যাকের বরফ ক্যালরিমিটার-পদ্ধতি (Black's ice calorimeter method)ঃ বরফ গলনের লীনতাপ নির্ণয়ের ইহাই সর্বাপেক্ষা সহজ পদ্ধতি। এই পদ্ধতিতে একটি বড় বরফের ব্লকের মধ্যে একটি গর্ত করা হয় এবং উপরে একটি বরফের চাঙর দ্বারা গর্তটি ঢাকিয়া দেওয়া হয় (চিত্র 6.1)। জানা আপেক্ষিক তাপের (S) একটি ধাতব বল (ওজন M গ্র্যাম) লইয়া উহাকে একটি স্টীম প্রকোষ্ঠে উত্তপ্ত করা হয়। বস্তুটির তাপমাত্রা স্থির হইলে (t°C) গর্তের ঢাকনা সরাইয়া এবং অভ্যন্তরের জল একখণ্ড স্পঞ্জ বা ব্লটিং কাগজের সাহায্যে শুষিয়া লইয়া বস্তুটি গর্তের মধ্যে দ্রুত ফেলিয়া দেওয়া হয় এবং ঢাকনা দিয়া গর্তটি বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়। ধাতব বল কর্তৃক বর্জিত তাপে কিছু পরিমাণ বরফ গলিবে এবং বলটি বরফের তাপমাত্রায় (0°C) স্থির হইবে। পিপেটের সাহায্যে বরফগলা জল সংগ্রহ করিয়া উহার ওজন (m গ্র্যাম) বাহির করা হয়।



চিত্র 6.1

সুতরাং, কঠিন বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ$=MSt$ ক্যালরি

এবং বরফগলনের লীনতাপ প্রতি গ্র্যামে L ক্যালরি হইলে,

m গ্র্যাম বরফ গলিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ$=mL$ ক্যালরি

$$\therefore \quad mL = MSt, \text{ বা, } L = \frac{MSt}{m}$$

পরীক্ষার সাহায্যে ডান পক্ষের প্রত্যেক রাশির মান বাহির করিয়া L-এর মান পাওয়া যায়।

এই পদ্ধতিতে L-এর মান জানা থাকিলে পদার্থের আপেক্ষিক তাপের (S) মানও বাহির করা যায়।

যদিও বিকিরণজনিত তাপক্ষয় এই পদ্ধতিতে একেবারে হয় না বলিলেই চলে, তবুও এই পরীক্ষায় নিম্নলিখিত ত্রুটিগুলি আসিতে পারে।

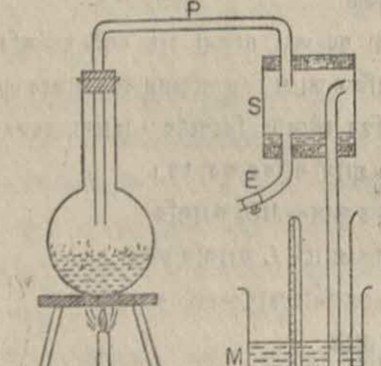
(a) গর্তের মধ্যে সমস্ত বরফগলা জল পিপেটের সাহায্যে বাহির করা সম্ভব নয়।

(b) কঠিন বস্তুকে গর্তের মধ্যে স্থানান্তরিত করিবার সময় বায়ুমণ্ডল হইতে সংগৃহীত তাপে কিছু পরিমাণ বরফ গলিতে পারে।

6.3.a. বরফগলনের লীনতাপের মান উচ্চ হওয়ার সুবিধা (Advantage of high value of latent heat of fusion of ice) :

অন্যান্য কঠিন বস্তুর গলনের লীনতাপ অপেক্ষা বরফগলনের লীনতাপের মান বেশী। প্রকৃতিতে ইহার জন্য কিছু সুবিধা পাওয়া যায়। বরফের লীনতাপ বেশী হওয়ার ফলে হ্রদ, নদী এবং অন্যান্য জলাশয়ের জল সহজে জমিয়া কঠিন হইতে পারে না, ইহাতে জলজ প্রাণীদের প্রাণ রক্ষা পায়। অন্যদিকে হিমবাহ ইত্যাদির বরফ সহজে গলিতে পারে না, নতুবা পর্বতসংকুল দেশে বরফ গলিয়া প্রচণ্ড বন্যার সৃষ্টি করিত। বরং হিমবাহের উপস্থিতিতে তাপমাত্রা দ্রুত বাড়িতে পারে না, ইহাতে চতুঃপার্শ্বস্থ আবহাওয়া প্রভাবিত হয়।

6.4. জলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ নির্ণয় (Determination of latent heat of steam) :



চিত্র 6.2

ক্যালরিমিটারে মিশ্রণ পদ্ধতির সাহায্যে জলের বাষ্পীভবনের লীনতাপ সহজে বাহির করা সম্ভব।

আলোড়কসহ একটি পরিষ্কার ক্যালরিমিটার (M) লইয়া উহার ওজন তুলাদণ্ডের সাহায্যে বাহির করা হইল (চিত্র 6.2)। ক্যালরিমিটারটি কিছুটা জলপূর্ণ করিয়া উহাকে আবার ওজন করা হইল। এই দুই ওজনের বিয়োগফল হইতে ক্যালরিমিটারের জলের ওজন পাওয়া যাইবে। থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা বাহির করা হইল।

এইবার একটি বড় গোলতল ফ্লাস্কে জল ফুটাইয়া P কাচনলের সাহায্যে স্টীম ক্যালরিমিটারের ভিতর আনা হইল। স্টীমের সহিত ঘনীভূত জলকণা

থাকায় সরাসরি স্টীম ক্যালরিমিটারে আনিলে পরীক্ষায় ত্রুটি থাকিয়া যায়। এ কারণে, স্টীম একটি **বাষ্প নিরোধকের** (S) মধ্যদিয়া পাঠানো হয়। স্টীমের সহিত ঘনীভূত জলকণা S পাত্রের নীচে জমা হয় এবং E নল দ্বারা তাহা বাহির করা যায়।

ক্যালরিমিটারের জলে কিছুক্ষণ এইভাবে শুষ্ক স্টীম চালনা করিলে ক্যালরিমিটারের তাপমাত্রা বাড়িতে থাকে এবং তাপমাত্রা যখন $7-8°C$-র মত বাড়ে, তখন স্টীম চালনা বন্ধ করিয়া আলোড়কের সাহায্যে ক্যালরিমিটারের জল নাড়া হয় এবং থার্মোমিটারে চূড়ান্ত তাপমাত্রা মাপা হয়। ক্যালরিমিটারটি পুনরায় প্রাথমিক তাপমাত্রায় আসিলে উহার ওজন লওয়া হয় এবং এই ওজন হইতে জলশূন্য ক্যালমিটারের প্রাথমিক ওজন বাদ দিলে জলে ঘনীভূত স্টীমের ওজন পাওয়া যায়।

গণনা :

মনে করা যাক, আলোড়কসহ শূন্য ক্যালমিটারের ভর $= m$ গ্রাম

উহার উপাদানের আপেক্ষিক তাপ $= s$

ক্যালরিমিটারের জলের ভর $= m_1$ গ্রাম

জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা $= t_1°C$

ঘনীভূত স্টীমের ভর $= M$ গ্রাম

জলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা $= t_2°C$

বাষ্পীভবনের লীনতাপ $= L$ ক্যালরি/গ্রাম

তাহা হইলে, স্টীম কর্তৃক বর্জিত তাপ $= ML + M(100 - t_2)$ ক্যালরি

[স্টীমের তাপমাত্রা $= 100°C$]

ক্যালরিমিটার ও জলকর্তৃক গৃহীত তাপ $= (ms + m_1)(t_2 - t_1)$ ক্যালরি

$\therefore$ ক্যালরিমিতির নীতি অনুযায়ী, $ML + M(100 - t_2)$

$$= (ms + m_1)(t_2 - t_1)$$

বা, $$L = \frac{(ms + m_1)(t_2 - t_1)}{M} - (100 - t_2)$$

ত্রুটি ও সাবধানতা :

(a) কাচনলের (P) ভিতর দিয়া স্টীমপ্রবাহের কালে কিছু পরিমাণ স্টীম নলের গায়ে ঘনীভূত হয়। এ কারণে কাচনলটি তুলা, এস্‌বেস্টস্ ইত্যাদি অপরিবাহী পদার্থ দ্বারা আবৃত করা উচিত।

(b) সরাসরি তাপ যাহাতে ক্যালরিমিটারে না আসিতে পারে এজন্য স্ফুটনপাত্র ও ক্যালরিমিটারের মাঝে একটি কাঠের পার্টিশান দেওয়া হয়।

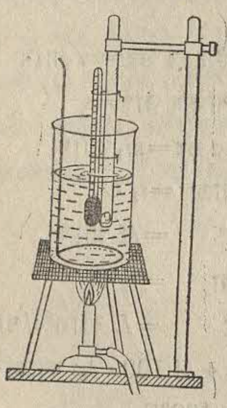
(c) বিকিরণজনিত তাপক্ষয় নিবারণের জন্য ক্যালরিমিটারের জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা ঘরের তাপমাত্রার কিছুটা নীচে আনিলে ভাল হয়।

(d) স্বাভাবিক বায়ুচাপে স্টীমের তাপমাত্রা 100°C হয়। চাপ কম-বেশী থাকিলে স্টীমের তাপমাত্রা 100°C ধরিয়া গণনা করা ঠিক নয়। সেক্ষেত্রে, স্টীমের প্রাথমিক তাপমাত্রা মাপিয়া লওয়া উচিত।

6.5. পদার্থের গলণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of melting point of a substance) :

(*A*) **কৈশিক নল-পদ্ধতি** (Capillary tube method) পরীক্ষাগারে কোন পদার্থের গলনাঙ্ক কৈশিক নল-পদ্ধতিতে বাহির করা যাইতে পারে। কিন্তু গলনাঙ্ক খুব কম বা বেশী হইলে এই উপায়ে বাহির করা যাইবে না।

একটি বীকারে কিছু পরিমাণ ঘন সালফিউরিক এ্যাসিড লওয়া হয় (চিত্র 6.3)। যে পদার্থটির গলনাঙ্ক বাহির করিতে হইবে, তাহাকে উত্তমরূপে গুঁড়া করিয়া একটি সূক্ষ্মরন্ধ্রবিশিষ্ট একমুখ-বন্ধ কৈশিক নলে ভরা হয়। একটি থার্মোমিটারের পাত্রে কৈশিক নলটি এমনভাবে লাগান হয় যাহাতে পদার্থটি পারদকুণ্ডের নিকটে থাকে। থার্মো-মিটার ও কৈশিক নলটিকে ধীরে ধীরে এ্যাসিডের মধ্যে নিমজ্জিত করা হয়। লক্ষ্য রাখিতে হইবে, যাহাতে কৈশিক নলের খোলামুখ এ্যাসিডের উপরে থাকে। এ কারণে, দীর্ঘ কৈশিক নল ব্যবহার করাই ভাল।



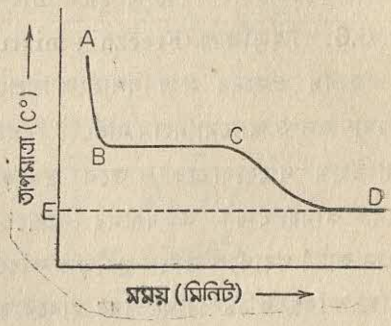
চিত্র 6.3

এইবার বীকারটি অতি ধীরে ধীরে বুনসেন শিখায় উত্তপ্ত করিলে দেখা যাইবে, কৈশিক নলের ভিতরের পদার্থটি গলিতে শুরু করিয়াছে। এই অবস্থায় থার্মোমিটারের পাঠই পরীক্ষাধীন পদার্থটির গলনাঙ্ক। আবার, এ্যাসিডের তাপমাত্রা পদার্থের গলনাঙ্কের কিছু উপরে তুলিয়া বুনসেন শিখা সরাইলে তাপমাত্রা ধীরে ধীরে কমিতে থাকিবে। তাপমাত্রা কমিয়া হিমাঙ্কে পৌছিলে তরল জমিতে শুরু করে। এই মুহূর্তে আবার থার্মো-মিটারের পাঠ লওয়া হয়। এই দুই পাঠের গড় হইল পদার্থটির গলনাঙ্ক। দেখা যায়, অধিকাংশ পদার্থের জন্য গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক একই তাপমাত্রা। গলনাঙ্ক জলের স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা কম হইলে সালফিউরিক এ্যাসিডের পরিবর্তে

জলও ব্যবহার করা যায়। ন্যাপথলিনের গলনাঙ্ক (80°C) এই উপায়ে বাহির করা যায়।

(*B*) **ক্রমশীতল লেখচিত্র-পদ্ধতি** (Cooling curve method) :

একটি টেস্ট টিউবে পরীক্ষাধীন পদার্থের (ন্যাপথলিন, মোম, ইত্যাদি) কিছুটা লইয়া টিউবের মুখ কর্কের ছিপি দ্বারা বন্ধ করা হইল। টেস্ট টিউবটিকে এ্যাসিডপূর্ণ বা জলপূর্ণ বীকারে রাখিয়া উত্তপ্ত করিলে পদার্থটি একসময় গলিয়া যাইবে। তাপমাত্রা গলনাঙ্কের কিছু উপরে তুলিয়া টেস্টটিউবটি-কে ঠাণ্ডা হইতে দেওয়া হইল এবং প্রতি আধমিনিট অন্তর তাপমাত্রা দেখা হইল। তাপমাত্রা দ্রুত কমিতে দেখা যাইবে।



চিত্র 6.4

পদার্থটি যে সময়ে জমিতে শুরু করিবে সে সময় হইতে তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন দেখা যাইবে না। সমস্ত বস্তু জমিয়া গেলে আবার তাপমাত্রা কমিতে শুরু করিবে। লেখচিত্রে (চিত্র 6.4) অনুভূমিক অক্ষ বরাবর সময় এবং উল্লম্ব অক্ষ বরাবর তাপমাত্রা নির্দেশ করিলে *ABCD* লেখটি পাওয়া যাইবে। প্রায় উল্লম্ব *AB* অংশ তরলের দ্রুত শীতলতা নির্দেশ করিতেছে। *B* বিন্দুতে তরলটির কঠিনীভবন শুরু হয় এবং *C* বিন্দুতে সমস্ত বস্তুটি জমিয়া কঠিনে পরিণত হয়। সুতরাং *B* এবং *C*-র মধ্যবর্তী অংশে তরলটি লীনতাপ ছাড়িয়া কঠিন হয়, একারণে ঐ সময়ে তরল তাপ বর্জন করিলেও তাপমাত্রার কোন পার্থক্য থার্মোমিটারে ধরা পড়ে না। *BC* অংশের তাপমাত্রা পদার্থের গলণাঙ্ক বা হিমাঙ্ক নির্দেশ করে। *CD* অংশটি পদার্থটির কঠিন অবস্থায় শীতলীকরণ নির্দেশ করিতেছে—স্পষ্টতঃই *AB* অংশের তুলনায় ইহার নতি (slope) কম, সুতরাং শীতলীকরণের হার কম। কারণ, এক্ষেত্রে ঘরের তাপমাত্রার (*ED* রেখা) সহিত পার্থক্য দ্রুত কমিয়া যাওয়ায় শীতলীকরণের হার কমিয়া যায়।

6.5a. সংকর ধাতুর গলনাঙ্ক (Melting points of alloys) : বেশীর ভাগ ক্ষেত্রেই সংকর ধাতুর নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক নাই, উহাতে মিশ্রিত উপাদান-গুলির শতকরা উপস্থিতির উপর গলনাঙ্ক নির্ভরশীল। সীসা ও টিনের মিশ্রণে

রাংঝাল তৈয়ারী হয় এবং ইহার গলনাঙ্ক 180°C, কিন্তু সীসার গলনাঙ্ক 327°C এবং টিনের গলনাঙ্ক 232°C। সংকর ধাতুর গলনাঙ্ক কম বলিয়া রোজধাতু (Rosemetal—গলনাঙ্ক 94·5°C, সীসা+টিন+বিসমাথ) উড্-ধাতু (Wood's metal—গলনাঙ্ক 60·5°C, সীসা+ক্যাডমিয়াম+বিসমাথ) ইত্যাদি কয়েকটি পদার্থ বিশেষ কাজে প্রায়শ ব্যবহার করা হয়।

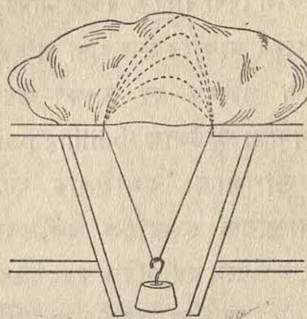
6.6. হিমমিশ্র (Freeznig mixture) **:** 9 ভাগ ওজনের গুঁড়া বরফ ও একভাগ ওজনের লবণ মিশাইলে মিশ্রণের তাপমাত্রা −23°C হয়। সম-পরিমাণ জল ও অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট মিশ্রণের তাপমাত্রা −15°C। 'হাইপো' (সোডিয়াম থায়োসালফেট) জলে দ্রবীভূত করিলেও মিশ্রণের তাপমাত্রা অনেক কমিয়া যায়। এই ধরনের মিশ্রণকে **হিমমিশ্র** বলা হয়। সাধারণতঃ কোন কঠিন পদার্থকে তরলে দ্রবীভূত করিলে দ্রবণের তাপমাত্রা কমিয়া যায়। ইহার কারণ, কঠিন পদার্থটি যখন দ্রাবকে দ্রবীভূত হয় তখন প্রয়োজনীয় লীন-তাপ দ্রাবক হইতে সংগ্রহ করে—ইহাতে দ্রবণের তাপমাত্রা কমিয়া যায়। বরফ ও লবণের মিশ্রণে, প্রতি গ্র্যাম বরফ 80 ক্যালরি তাপ দ্রবণ হইতে গ্রহণ করে। এই মিশ্রণে অতিরিক্ত লবণ মিশাইলে মিশ্রণের তাপমাত্রা আর কমে না, কিন্তু শীতলীভবন দ্রুত সংগঠিত হয়। কুলপি বরফ নির্মাণে বা মাছ-মাংস সংরক্ষণে হিমমিশ্র ব্যবহার করা হয়।

6.7. গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব (Effect of pressure on melting point) **:**

কঠিন পদার্থ তরলে রূপান্তরিত হইলে আয়তনের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে। দেখা গিয়াছে, **যে সমস্ত কঠিন পদার্থ তরলে পরিণত হওয়ায় আয়তনে সংকুচিত হয় তাহাদের ক্ষেত্রে চাপবৃদ্ধির সহিত গলনাঙ্ক কমে।** আবার, **কঠিন হইতে তরলে রূপান্তরের সময় যদি পদার্থের আয়তন বৃদ্ধি পায়, তবে চাপবৃদ্ধির সহিত গলনাঙ্ক বাড়ে।** সাধারণ নিয়মে, কঠিন পদার্থ তরলে পরিণত হইলে আয়তনের প্রসার হয়—যেমন, মোম। সুতরাং চাপবৃদ্ধি ঘটিলে মোমের গলনাঙ্ক বাড়িয়া থাকে।

অন্যদিকে, বরফ, পিতল, ঢালাই লোহা ইত্যাদি কতকগুলি পদার্থ তরলে পরিণত হইলে আয়তনে সংকুচিত হয়। ফলে ইহাদের গলনাঙ্ক চাপবৃদ্ধির সহিত কমিয়া যায়। বরফের ক্ষেত্রে বটম্‌লির পরীক্ষায় (Bottomley's experiment) তাহা দেখান যায়। দুইটি টেবিল কাছাকাছি টানিয়া আনিয়া বরফের একটি বড় খণ্ড এমনভাবে উহাদের উপর স্থাপন কর যাহাতে বরফের

দুইপ্রান্ত চিত্রের ন্যায় (চিত্র 6.5) টেবিল দুইটির ধারের উপরে থাকে। একটি সরু তামার তার বরফের উপর দিয়া ঝুলাইয়া দাও ও তারের দুইপ্রান্ত একটি ভারী বাটখারার সহিত বাঁধ। দেখা যাইবে, তারটি বরফ কাটিয়া বাহির হইয়া আসিল অথচ বরফ টুকরা হইয়া গেল না। ইহার কারণ, তামার তার হইতে ওজন ঝুলাইয়া দিবার জন্য তারের ঠিক নিচে বরফের উপর অত্যধিক চাপ পড়ে। ইহার ফলে ঐ স্থানের বরফের গলনাঙ্ক কমিয়া যায় ও বরফ গলিয়া জল হয়। এই গলনের জন্য কিছু তাপ প্রয়োজন। তামার তার ও চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ু হইতে তাহা সংগৃহীত হয়। তার বরফগলা জল ভেদ করিয়া নামিবার সঙ্গে সঙ্গে বরফগলা জলের উপর চাপ কমিয়া যায় এবং গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। সুতরাং এই জল আবার জমিয়া যায়। এই হিমায়নের ফলে কিছু তাপ বর্জিত হয়। তামার তার তাপের সুপরিবাহী বলিয়া এই তাপ সহজেই নীচের বরফে পৌঁছাইয়া দেয়। নীচের বরফও একই কারণে গলিয়া জল হয় এবং তামার তারকে নীচে নামিতে দেয়। তার নামিবার সঙ্গে সঙ্গে জল আবার জমিয়া বরফ হয়। এইভাবে তার বরফ কাটিয়া আসে, কিন্তু বরফ দুই টুকরা হইয়া যায় না।



চিত্র 6.5

এই পরীক্ষায় তামার তারের পরিবর্তে সুতা ব্যবহার করা যায় না, কারণ, সুতা তাপের কুপরিবাহী বলিয়া বরফ গলা জল জমিবার সময় যে তাপ বর্জিত হয় তাহা নীচের বরফে পরিবাহিত করিতে পারে না।

দুই টুকরা বরফ লইয়া চাপ দিলে উহাদের সংযোগস্থলে গলনাঙ্ক কমিয়া যায় এবং ঐ স্থানের বরফ গলিয়া জল হয়। চাপ অপসারিত করিলে গলনাঙ্ক আবার বাড়িয়া যায়, ফলে বরফের টুকরা দুইটি জোড়া লাগিয়া যায়। চাপ বাড়াইয়া বরফকে জলে পরিণত করা ও চাপ অপসারিত করিয়া পুনরায় জমাইয়া দেওয়াকে **পুনঃশিলীভবন** (Regelation) বলে।

6.8. বাষ্পায়ণ, স্ফুটন ও ঘনীভবন (Evaporation, boiling and condensation) **: তরল অবস্থা হইতে ধীরে ধীরে গ্যাসীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হওয়াকে বাষ্পায়ন বলে।** বাষ্পায়ন তরলের উপরিতল হইতে হয় এবং যে-কোন তাপমাত্রায় হইতে পারে। তাপমাত্রা বাড়িলে

বাষ্পায়নের হার বাড়ে। **খুব দ্রুত তরল অবস্থা হইতে বাষ্পে পরিণত হওয়ার ঘটনাকে স্ফুটন বলে।** তরলের তাপমাত্রা ক্রমাগত বাড়াইতে থাকিলে দেখা যাইবে, একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় তরলের সকল অংশ হইতে বুদ্‌বুদের আকারে দ্রুত বাষ্প বাহির হইতেছে এবং যতক্ষণ না তরল সম্পূর্ণরূপে বাষ্পে পরিণত হয় ততক্ষণ তরলের তাপমাত্রা স্থির থাকে। ঐ নির্দিষ্ট তাপমাত্রা **স্ফুটনাঙ্ক** (boiling point)। ইহা বায়ু চাপের উপর নির্ভরশীল।

তাপমাত্রা কমাইবার ফলে গ্যাসীয় অবস্থা হইতে তরলে রূপান্তরিত হওয়াকে ঘনীভবন বলে। চাপ বাড়াইয়াও গ্যাসীয় অবস্থা হইতে তরলে রূপান্তরিত করা সম্ভব। দেখা গিয়াছে, চাপ বাড়াইয়া কোন গ্যাসীয় পদার্থকে তরলীভূত করিতে হইলে পদার্থটির তাপমাত্রা একটি নির্দিষ্ট মানে বা উহার নীচে রাখিতে হয়। এই তাপমাত্রাকে **সংকট তাপমাত্রা** (critical temperature) বলে। উদাহরণস্বরূপ, কার্বন ডাই-অক্সাইড গ্যাসের সংকট তাপমাত্রা $31{\cdot}1°C$। গ্যাসীয় পদার্থটির তাপমাত্রা সংকট তাপমাত্রার উপরে থাকিলে চাপ বাড়াইয়া ইহাকে তরলে পরিণত করা যায় না। অক্সিজেন, হাইড্রোজেন, হিলিয়াম ইত্যাদি গ্যাসের সংকট তাপমাত্রা ঘরের তাপমাত্রার অনেক নীচে, একারণে সাধারণ তাপমাত্রায় উহাদের চাপ-বৃদ্ধি করিয়া তরলীভূত করা সম্ভব নয়। সাধারণতঃ, সংকট তাপমাত্রার উপরে থাকিলে বায়বীয় পদার্থকে গ্যাস আর নীচে থাকিলে বাষ্প বলা হয়। জলের সংকট তাপমাত্রা $378°C$, একারণে জলীয় বাষ্প কথাটি ব্যবহার করা হয়।

6.8.a. বাষ্পায়ন ও স্ফুটনের পার্থক্য (Distinction between evaporation and boiling) :

(i) বাষ্পায়ন যে-কোন তাপমাত্রায় সম্ভব। কিন্তু স্ফুটন একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় হইয়া থাকে। এই তাপমাত্রা বায়ুচাপের উপর নির্ভরশীল।

(ii) বাষ্পায়ন তরলের উপরিতল হইতে হয় আর স্ফুটন তরলের সকল অংশ হইতে হয়।

(iii) বাষ্পায়ন ধীরে ধীরে হয় ; কিন্তু স্ফুটন অতি দ্রুত সংঘটিত হয়।

6.8b. বাষ্পায়নের হার পরিবর্তনের কারণ (Factors governing rate of evaporation) :

নিম্নলিখিত কয়েকটি বিষয়ের উপর বাষ্পায়নের হার নির্ভরশীল।

(i) **তরলের প্রকৃতি :** সাধারণ তরল অপেক্ষা উদ্বায়ী তরলের ক্ষেত্রে বাষ্পায়ন দ্রুত হয়। যেমন, স্পিরিট দ্রুত বাষ্পীভূত হয়। হাতে এক ফোঁটা

স্পিরিট ঢালিলে উহা দ্রুত বাষ্পীভূত হয়। বাষ্পীভবনের জন্য প্রয়োজনীয় লীনতাপ হাত হইতে সংগৃহীত হয় বলিয়া হাতে ঠাণ্ডা লাগে।

(ii) **বায়ুর শুষ্কতা :** বায়ু যত শুষ্ক হয়, বাষ্পায়ন তত দ্রুত হয়। শীতকালে বাতাসের আর্দ্রতা কম থাকায় ভিজা কাপড় বর্ষাকাল অপেক্ষা তাড়াতাড়ি শুকায়।

(iii) **তরলের মুক্ততলের ক্ষেত্রফল :** বৃহত্তর তল হইতে বাষ্পায়ন ঘটিলে বাষ্পায়নের পরিমাণ বাড়িয়া যায়। গরম দুধ বা চা কাপ হইতে প্লেটে ঢালিলে তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হয়।

(iv) **তরলের উপরিস্থিত বায়ুচাপ :** তরলের উপরিস্থিত বায়ুচাপের উপর বাষ্পায়নের হার নির্ভরশীল। চাপবৃদ্ধিতে বাষ্পায়নের হার হ্রাস পায়, বিপরীতভাবে, চাপহ্রাসে হার বৃদ্ধি পায়। বায়ুশূন্য স্থানে বাষ্পায়ন দ্রুত ঘটে।

(v) **তরল এবং উহার সংলগ্ন বায়ুর তাপমাত্রা :** তরল এবং উহার চারিপাশের বায়ুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে বাষ্পায়নের হার বৃদ্ধি পায়।

(vi) **বায়ু চলাচল :** তরলের উপর দিয়া বায়ু চলাচল দ্রুত হইলে বাষ্পায়ন দ্রুত সংঘটিত হয়। পাখার নীচে বসিলে এজন্য ঘাম তাড়াতাড়ি বাষ্পীভূত হয়।

তরল হইতে বাষ্পে রূপান্তর, তাহা বাষ্পায়ন বা স্ফুটন যাহার সাহায্যেই হউক না কেন, সাধারণভাবে তাহাকে **বাষ্পীভবন** বলে।

6.8c. বাষ্পায়ণ ও শৈত্য (Evaporation and cooling) :

তরল বাষ্পে রূপান্তরের কালে প্রয়োজনীয় লীনতাপ নিজ দেহ বা পরিপার্শ্ব হইতে সংগ্রহ করে। ইহার ফলে শৈত্যের সঞ্চার হয়। হাতে ইথার বা স্পিরিটের বাষ্পায়নে শৈত্যের কথা আগেই বলা হইয়াছে। এখানে আরও দু-একটি সাধারণ উদাহরণ দেওয়া হইল।

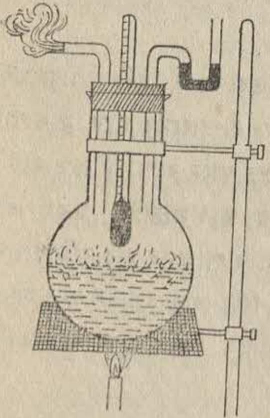
মাটির কলসীতে জল রাখিলে উহা অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা হয়। কারণ, কলসীর গায়ে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ছিদ্রের ভিতর দিয়া কলসীর জল বাহিরে আসিয়া বাষ্পীভূত হয়। প্রয়োজনীয় লীনতাপ কলসী হইতে সংগৃহীত হওয়ায় কলসী ঠাণ্ডা থাকে। ধাতবপাত্রে এইরূপ কোন ছিদ্র না থাকায় জল অনুরূপ ঠাণ্ডা হয় না।

গরম কালে ঘরের দরজা ও জানালায় খস্‌খস্‌ টাঙানো হয়। ভিজা খস্‌খস্‌ হইতে জল বাষ্পীভূত হয়, লীনতাপ ঘরের বাতাস ও খস্‌খস্‌ হইতে সংগৃহীত হয়। এজন্য খস্‌খস্‌ এবং ঘরের বাতাস ঠাণ্ডা হয়।

থার্মোমিটারের পারদকুণ্ড ভিজা কাপড়ে জড়াইয়া রাখিলে পারদ ধীরে ধীরে নামিয়া আসে। ইহার কারণ, কাপড়ের জল ধীরে ধীরে বাষ্পে পরিণত হয় এবং ইহার জন্য যে তাপের প্রয়োজন তাহা পারদকুণ্ড হইতে সংগৃহীত হয়। সুতরাং কুণ্ড ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে ও পারদস্তম্ভের উচ্চতা কমিয়া যায়।

6.9. তরলের স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় (Determination of the boiling point of a liquid) :

একটি গোলতল ফ্লাস্কের মধ্যে কিছু পরীক্ষাধীন তরল লইয়া তিনটি ছিদ্রযুক্ত একটি কর্কদ্বারা ফ্লাস্কটির মুখ বন্ধ কর। ছিদ্র তিনটির একটিতে থার্মোমিটার, একটিতে একটি নির্গমনল এবং তৃতীয়টিতে একটি আংশিক পারদপূর্ণ U-নল লাগাও (চিত্র 6.6)। এখন ফ্লাস্কটিকে ক্ল্যাম্পদ্বারা স্ট্যাণ্ডের সহিত আটকাইয়া একটি তারজালির উপরে বসাও ও বুনসেন শিখার দ্বারা উত্তপ্ত কর। তরলের তাপমাত্রা স্ফুটনাঙ্কে আসিয়া স্থির হইবে এবং থার্মোমিটার দেখিয়া তাহা বুঝা যাইবে। এই সময় সমকোণ বাঁকান নির্গম-নল দ্বারা প্রচুর বাষ্প বাহির হইতে থাকিবে।



চিত্র 6 6

U-নলের দিকে তাকাইলে দেখা যাইবে, ইহার দুই বাহুতে পারদের উচ্চতা সমান। অর্থাৎ, **স্ফুটনের সময় বায়ুমণ্ডলের চাপ তরলের উপরের বাষ্পচাপের সমান হয়।**

6.10. স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব (Effect of pressure on boiling point) :

তরলের স্ফুটনাঙ্ক তরলের উপরিস্থিত চাপের উপর নির্ভরশীল। চাপ বাড়িলে স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে, চাপ কমিলে স্ফুটনাঙ্ক কমে। জলের স্ফুটনাঙ্ক প্রমাণ বায়ুচাপে 100°C। প্রতি 27 মি.মি. বায়ুচাপ বৃদ্ধি বা হ্রাসের ফলে জলের স্ফুটনাঙ্ক 1°C বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়। অর্থাৎ জলের স্ফুটনাঙ্ক 753 মি.মি. বায়ু-চাপে 99°C এবং 787 মি.মি. চাপে 101°C হয়। দার্জিলিঙে জল 100°C-র নীচে ফোটে, কারণ দার্জিলিঙের অবস্থিতি সমুদ্রতল হইতে প্রায় 7000 ফিট ঊর্ধ্বে বলিয়া ঐ স্থানের বায়ুচাপ প্রমাণ বায়ুচাপ হইতে কম।

প্রেসার কুকারে (Pressure cooker) কৃত্রিম উপায়ে চাপ বৃদ্ধি করিয়া

জলের স্ফুটনাঙ্ক বাড়াইয়া দেওয়া হয়। ফলে প্রেসার কুকারে অল্প সময়ে খাদ্য দ্রব্য সুসিদ্ধ করা সম্ভব হয়।

6.11. স্ফুটনাঙ্কের উপর দ্রবীভূত পদার্থ ও পাত্রের উপাদানের প্রভাব (Influence of dissolved substance and material of the vessel on boiling point) :

দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক বিশুদ্ধ তরলের স্ফুটনাঙ্ক হইতে বেশী দেখা যায়। অর্থাৎ দ্রবীভূত পদার্থ তরলের স্ফুটনাঙ্ক বাড়াইয়া দেয়। স্ফুটনাঙ্ক কতটা বাড়িবে তাহা দ্রবণের মাত্রার উপর নির্ভর করে। দ্রবণ হইতে নির্গত বাষ্পের তাপ-মাত্রা অবশ্য বিশুদ্ধ তরলের স্ফুটনাঙ্কের সমান থাকে। অর্থাৎ কোন জলীয় দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক $102°C$ হইলেও ফুটন্ত দ্রবণের উপরিস্থিত জলীয় বাষ্প $100°C$ তাপমাত্রাতেই থাকিবে।

স্ফুটনাঙ্ক পাত্রের উপাদানের উপর ও পাত্রের ভিতরকার গাত্রের উপর নির্ভর করে। কাচপাত্রে জল তামার পাত্র অপেক্ষা বেশী তাপমাত্রায় ফোটে। পাত্রের ভিতরের গাত্র যত মসৃণ হইবে, স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধির সম্ভাবনা তত বেশী হয়।

উদাহরণ : (1) 1 কিলোগ্রাম বরফ এবং 1 কিলোগ্রাম জলের মিশ্রণের ভিতর 100 গ্র্যাম স্টীম পাঠানো হইল। সমস্ত স্টীমই তরলে পরিণত হইলে কত বরফ গলিবে? মিশ্রণের প্রাথমিক এবং চূড়ান্ত তাপমাত্রা কি হইবে?

[বরফ গলনের লীনতাপ=80 ক্যা/গ্র্যাম ও বাষ্পীভবনের লীন-তাপ= 540 ক্যা/গ্র্যাম] [H.S. 1964]

উত্তর : 100 গ্র্যাম স্টীম জলে পরিণত হইলে, পরিত্যক্ত তাপ $=100\times540=54{,}000$ ক্যালরি। এই জলের তাপমাত্রা $0°C$-এ নামিয়া আসিলে বর্জিত তাপ $=100\times100=10{,}000$ ক্যালরি।

$\therefore$ মোট বর্জিত তাপ $=54{,}000+10{,}000=64{,}000$ ক্যালরী।

1 গ্র্যাম বরফ গলিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ = 80 ক্যালরী।

সুতরাং 64,000 ক্যালরী বর্জিত তাপে $\frac{64{,}000}{80}=800$ গ্র্যাম বরফ গলিবে। যেহেতু, মিশ্রণে বরফের পরিমাণ 1 কিলোগ্রাম বা 1000 গ্র্যাম, সুতরাং $(1000-800)$ বা 200 গ্র্যাম বরফ মিশ্রণে থাকিয়া যাইবে।

$\therefore$ মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা $0°C$ হইবে।

মিশ্রণের প্রাথমিক তাপমাত্রাও $0°C$ ছিল।

(2) $-10°C$ তাপমাত্রার 5 গ্র্যাম বরফ ও $30°C$ তাপমাত্রার 20 গ্র্যাম

জলের মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত হইবে? বরফের আপেক্ষিক তাপ $=0{\cdot}5$

[C.U. 1926]

উত্তর : মনেকরি মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা $t°C$ হইবে।

$-10°C$ তাপমাত্রার বরফের $0°C$-এ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $=5\times0{\cdot}5\{0-(-10)\}=25$ ক্যালরি

বরফ গলনের জন্য প্রয়োজনীয় লীন তাপ $=5\times80=400$ ক্যালরি

$0°C$ হইতে $t°C$-এ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য এই বরফগলা জলের গৃহীত তাপ $=5t$ ক্যালরি

$\therefore$ মোট গৃহীত তাপ $=(25+400+5t)$ ক্যালরি

$30°C$ তাপমাত্রার জল কর্তৃক বর্জিত তাপ $=20\times(30-t)$ ক্যালরী

$\therefore\ 20(30-t)=25+400+5t$

বা, $600-20t=425+5t$

বা, $-25t=-175$

বা, $t=7°C$

প্রশ্নাবলী

1. পদার্থের অবস্থান্তর বলিতে কি বুঝ? লীন-তাপ কাহাকে বলে? বরফ গলনের লীন-তাপ বাহির করিবার একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর। উহার মান কত?

[What do you mean by the change of state of matter? What is latent heat? Describe a method to determine the latent heat of fusion of ice? What is its value?]

2. পরীক্ষাগারে বাষ্পীভবনের লীন-তাপ বাহির করিবার একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর। এই পরীক্ষায় প্রয়োজনীয় সতর্কতাগুলি বল।

[Describe any method of determining the latent heat of steam in the laboratory. State the precautions that should be taken.]

3. পদার্থের গলন ও কঠিনীভবন কাহাকে বলে? পদার্থের গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক কি এক? মোমের গলনাঙ্ক নির্ণয় করিবার পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[What is meant by melting and solidification? Are melting point and freezing point of a substance identical? Describe a method for determining the melting point of paraffin-wax.]

4. গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব কি? পুনঃশিলীভবন কাহাকে বলে? পরীক্ষাগারে উহা দেখাইবার প্রণালী বর্ণনা কর।

[What is the effect of pressure on melting point? What is regelation? Describe a method to demonstrate it in the laboratory.]

5. বাষ্পায়ণ ও স্ফুটন কাহাকে বলে? উহাদের মধ্যে পার্থক্য কি? কোন্ কোন্ কারণের উপর বাষ্পায়ণের হার নির্ভর করে? বাষ্পায়ণ শৈত্যের সঞ্চার করে—উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

[What are meant by boiling and evaporation? What are the differences between them? On what factors does the rate of evaporation depend? Evaporation causes cooling-explain with examples.]

6. স্ফুটনাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। তরলের উপরকার চাপের সহিত স্ফুটনাঙ্কের সম্পর্ক কি? স্ফুটনাঙ্কের উপর তরলে দ্রবীভূত পদার্থ ও পাত্রের উপাদানের প্রভাব কি?

[Write down the definition of the boiling point of a liquid. What is the relation between boiling point and pressure above a liquid? What is the influence of dissolved substance and material of the vessel on the boiling point?]

7. বৈজ্ঞানিক ব্যাখ্যা দাও:

[Give scientific explanation.]

(a) গরম কালে পাখার হাওয়ায় আরাম বোধ হয়।

[In summer, we feel comfortable under a fan.]

(b) হাতে স্পিরিট ঢালিলে ঠাণ্ডা লাগে।

[It feels cool when spirit is poured on hand.]

(c) কাপ হইতে ডিসে চা ঢালিলে তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হয়।

[Tea cools quickly when poured on dish from cups.]

(d) পচনশীল মাছ-মাংস বরফ ও লবণের মিশ্রণে রাখা হয়।

[Rotting fish and meat are kept in a mixture of ice and salt.]

(e) মাটির কলসীতে জল রাখিলে ঠাণ্ডা হয়, কিন্তু ধাতব কলসীতে হয় না।

[Water cools more in earthen pot than in metal pot.]

(f) থার্মোমিটারের পারদ কুণ্ড ভিজা কাপড় জড়াইয়া রাখিলে পারদ নীচে নামিয়া আসে।

[If the murcary bulb of the thermometer is wrapped in wet cloth, the temperature falls down.]

(g) দার্জিলিঙে কম তাপমাত্রায় জল ফোটে।

[Water boils at a lower temperature at Darjeeling.]

(h) ভিজা জামা কাপড়ে থাকিলে ঠাণ্ডা লাগার সম্ভাবনা থাকে।

[It is probable to catch cold in wet clothes.

8. মনে কর কোন মহাকাশচারী থার্মোফ্লাস্কে 20°C তাপমাত্রার জল লইয়া চাঁদের বুকে একটি বীকারে ঢালিল। জলের অবস্থা কি হইবে তাহা সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

[Suppose some astronaut on the surface of the moon took some water at 20°C in a thermoflask and poured it over into a glass beaker. Briefly explain what will happen to the water.] [J. Entrance 1976]

9. 100°C তাপমাত্রার 100 গ্র্যাম স্টীম হইতে 64,800 ক্যালরি তাপ নিষ্কাশন করিয়া লইলে কি ফল হইবে? (স্টীমের লীনতাপ=540 ক্যা/গ্র্যাম, বরফ গলনের লীনতাপ=80 ক্যা/গ্র্যাম)। [H.S. 1965]

[If 64,800 calories of heat are withdrawn from 100 gm. of steam at 100°C what will be the result? Latent beat of steam=540 cal/gm. and latent heat of fusion of ice=80 cal/gm.] [Ans 10 gm. of ice will form, temp. 0°C]

10. 100°C তাপমাত্রার ও 60 গ্র্যাম ওজনের একটি তামার পাত্রে 0°C তাপমাত্রার কত গ্র্যাম বরফ ফেলিলে পাত্রের তাপমাত্রা 40°C-এ নামিয়া আসিবে? তামার আপেক্ষিক তাপ 0.1. [C.U. 1921]

[Dry ice at 0°C is dropped into a copper can at 100°C, the weight of the can being 60 gms and specific heat of Cu is 0.1. How much ice would reduce the temperature of the can to 40°C?] [Ans. 3 gms]

11. 30 গ্র্যাম ওজনের একটি তামার বলকে 100°C এ উত্তপ্ত করিয়া বরফ ক্যালরিমিটার রাখা হইল। যদি 3.54 গ্র্যাম বরফ গলে এবং বরফ গলনের লীনতাপ 80 ক্যা/গ্র্যাম হয় তবে তামার আপেক্ষিক তাপ কত?

[A ball of copper of mass 30 gms. was heated to 100°C and placed in ice calorimeter. If it evolved heat to melt 3.54 gms. of ice and if the latent heat of fusion of ice is 80 cal/gm, find the specific heat of copper.] [Ans. 0 0944]

12. সমপরিমাণ বরফ ও জল মিশাইলে যদি মিশ্রণের তাপমাত্রা 0°C হয়, তবে জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা কত?

[If the temperature of a mixture of equal amounts of ice and water is 0°C, what is the initial temperature of the water?] [Ans. 80°C]

সপ্তম অধ্যায়

হাইগ্রোমিতি (Hygrometry)

7.1. সূচনা (Introduction) : সমুদ্র, নদী, হ্রদ ইত্যাদি জলাশয় এবং পৃথিবীর অন্যান্য আর্দ্র অংশ হইতে সকল সময়ই বাষ্পায়ন ঘটিতেছে। এই বাষ্প বায়ুমণ্ডলে মিশিয়া যায়। স্থান ও কালভেদে পৃথিবীর বিভিন্ন অংশের বায়ুমণ্ডলে এই জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বিভিন্ন। বায়ুমণ্ডলের অক্সিজেন ও নাইট্রোজেন গ্যাসের তুলনায় এই জলীয় বাষ্পের পরিমাণ খুবই কম। গড়ে জলীয় বাষ্প বায়ুমণ্ডলের শতকরা একভাগ আয়তন অধিকার করিয়া আছে।

বায়ুমণ্ডলে এই জলীয় বাষ্পের পরিমাণ নির্ণয় করাকে হাইগ্রোমিতি বলা হয়। 'হাইগ্রো' শব্দের অর্থ জলীয় বাষ্প এবং 'মিতি' শব্দের অর্থ পরিমাপ করা। বাতাসে জলীয় বাষ্পের উপস্থিতিই মেঘ, কুয়াশা, বৃষ্টি ইত্যাদির কারণ। বাতাসে জলীয় বাষ্পের অস্তিত্ব একটি সহজ পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ করা যায়। একটি পাতলা কাচের গেলাসে এক টুকরা বরফ রাখিলে গেলাসের বাহিরের গায়ে বিন্দু বিন্দু জলকণা জমিতে দেখা যায়। ইহার কারণ, বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প ঠাণ্ডা গেলাসের সংস্পর্শে ঘনীভূত হইয়া উহার গায়ে লাগিয়া যায়।

7.2. জলীয় বাষ্পের চাপ (Pressure of water vapour) : বায়ুমণ্ডলে অবস্থিত জলীয় বাষ্পও বায়ুর মত চাপ প্রদান করে। একটি সহজ পরীক্ষায় তাহা দেখান যাইতে পারে। একটি টরিসেলীয় ব্যারোমিটারে পিপেটের সাহায্যে পারদের ভিতর দিয়া ফোঁটা ফোঁটা জল প্রবেশ করাইলে জল পারদ অপেক্ষা হাল্কা বলিয়া পারদের উপরে ফাঁকা জায়গায় চলিয়া যাইবে এবং বাষ্পীভূত হইবে। এই বাষ্প পারদস্তম্ভের উপরে চাপ দিয়া উহাকে নীচে নামাইবে। একটু একটু করিয়া জল নলের মধ্যে প্রবেশ করাইলে এক সময় পারদের উপরে জলের একটি পাতলা স্তর জমিতে শুরু করিবে। এই সময়ে প্রবিষ্ট জল আর বাষ্পীভূত হইতে পারে না। এই অবস্থায় পারদস্তম্ভ প্রাথমিক অবস্থান হইতে যতটা নামিয়া আসে তাহাই স্তম্ভের উপরিস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপ।

এই পরীক্ষা হইতে আরও দেখা যায় যে, নির্দিষ্ট আয়তনে ও নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোন স্থানের বাষ্প ধারণ করিবার ক্ষমতা নির্দিষ্ট। স্থানটি যখন

সর্বোচ্চ পরিমাণ বাষ্প ধারণ করিয়া থাকে, অর্থাৎ বাষ্পধারণের নির্দিষ্ট সীমায় উপস্থিত হয়, তখন ঐ বাষ্পকে **সংপৃক্ত বাষ্প** (Saturated vapour) এবং ইহা যে পরিমাণ চাপ দেয় তাহাকে **সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ** (Saturation vapour pressure) বলে। বাষ্পের পরিমাণ সর্বোচ্চ মানের নীচে থাকিলে সংশ্লিষ্ট বাষ্পকে **অসংপৃক্ত বাষ্প** (Unsaturated vapour) বলে। অসংপৃক্ত বাষ্প ঐ নির্দিষ্ট পরিবেশে আরও বাষ্পধারণের ক্ষমতা রাখে।

তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে সংপৃক্ত বাষ্পের চাপের পরিবর্তন ঘটে। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, তাপমাত্রা বৃদ্ধির সহিত সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি পায়।

অসংপৃক্ত বাষ্প সাধারণ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে অর্থাৎ ইহা বয়েল ও চার্লসের গ্যাসসূত্রাবলী মানিয়া চলে। অন্যদিকে সংপৃক্ত বাষ্প ইহা মানে না।

সংপৃক্ত বাষ্পের ক্ষেত্রে আয়তন হ্রাস করিলে কিছু বাষ্প তরলীভূত হয়। কিন্তু আবদ্ধস্থান সর্বদা সংপৃক্ত থাকে বলিয়া চাপ অপরিবর্তিত থাকে।

অন্যদিকে, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ অসংপৃক্ত বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি করিলে বা তাপমাত্রা হ্রাস করিলে উহাকে সংপৃক্ত বাষ্পে পরিণত করা যায়।

সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপকে অনেক সময় **জলীয় টান** (Aqueous tension) বলা হয়। এই চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের মতই পারদস্তম্ভের উচ্চতা দ্বারা প্রকাশ করা হয়। 15°C তাপমাত্রায় জলীয় টান 12·7 মি.মি. বলিলে বুঝায় যে, ঐ তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ 12·7 মি.মি. উচ্চ পারদ-স্তম্ভের সমান।

কোন আবদ্ধ পাত্রে জল বা অন্য যে-কোন তরল থাকিলে তরলের সংস্পর্শে যে বাষ্প থাকে তাহা সর্বদা সংপৃক্ত থাকে। কারণ, তরলের উপস্থিতিই প্রমাণ করে যে, তরল সংলগ্ন আবদ্ধ স্থান বাষ্পধারণের সীমান্ত-মানে পৌঁছাইয়াছে।

7.3. শিশিরাঙ্ক (Dew point)**:** বায়ুতে সর্বদাই কিছু পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে। সাধারণত বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে, তাহার দ্বারা বায়ু সংপৃক্ত হয় না। আবার, তাপমাত্রার উপর নির্ভর করিয়া একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুর জলীয় বাষ্প ধারণ করিবার ক্ষমতা সীমাবদ্ধ। তাপমাত্রা হ্রাস করিলে বায়ুর আয়তন কমিতে থাকে এবং বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের দ্বারা বায়ু ক্রমশ সংপৃক্ত হইতে থাকে। তাপমাত্রা কমিয়া একটি

নির্দিষ্ট মানে পৌছাইলে বায়ু তাহার অভ্যন্তরস্থ জলীয় বাষ্পের দ্বারা সংপৃক্ত হয় এবং তাপমাত্রা ইহার নীচে আসিলে বায়ু আর সমস্ত জলীয় বাষ্পকে ধরিয়া রাখিতে পারে না; কিছু বাষ্প জমিয়া বিন্দু বিন্দু জলকণার আকার ধারণ করে। ইহাকে শিশির বলে। **যে তাপমাত্রায় একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ু উহাতে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের দ্বারা সংপৃক্ত হয় তাহাকে ঐ অবস্থায় বায়ুর শিশিরাঙ্ক বলে।**

কোন সময়ে বায়ুমণ্ডল যদি তাহার অভ্যন্তরস্থ জলীয় বাষ্পের দ্বারা সম্পূর্ণ সংপৃক্ত থাকে তবে বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রাই শিশিরাঙ্ক হইবে। আবার, বায়ু যদি সম্পূর্ণরূপে শুষ্ক অবস্থায় থাকে, তবে শিশিরাঙ্ক বলিয়া কিছু থাকিবে না। দেখা যাইতেছে, শিশিরাঙ্ক কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রা নয়, ইহার মান জলীয় বাষ্পের পরিমাণের উপর নির্ভর করে। কোন সময়ে ঘরের তাপমাত্রা $25°C$ এবং শিশিরাঙ্ক $17°C$ হইলে বুঝিতে হইবে যে, ঘরের তাপমাত্রা $25°C$ হইতে $17°C$-এ কমাইয়া আনিলে উপস্থিত জলীয় বাষ্প ঘরের বাষ্পকে সংপৃক্ত করিতে পারিবে। এই অবস্থায় ঘরের তাপমাত্রা যদি বাড়াইয়া দেওয়া হয় (মনে করি $30°C$) এবং বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ যদি একই থাকে, তবে শিশিরাঙ্কের কোন পরিবর্তন ঘটিবে না। কারণ, নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুর ক্ষেত্রে ইহা তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল নহে, উপস্থিত জলীয় বাষ্পের পরিমাণের উপর ইহা নির্ভর করে। তবে বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপ শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত বাষ্পচাপের সমান ধরিলে ঘরের তাপমাত্রার পার্থক্যে শিশিরাঙ্কের সামান্য পার্থক্য দেখা যায়। শিশিরাঙ্কের উপরে বাষ্প সাধারণ গ্যাসসূত্র মানিয়া চলে, সুতরাং তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বাষ্পচাপের বৃদ্ধি ঘটে। ঘরের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে জলীয় বাষ্পের চাপ বাড়ে, ফলে শিশিরাঙ্ক সামান্য বাড়িয়া যায়। বিপরীতক্রমে, তাপমাত্রাহ্রাসে শিশিরাঙ্ক সামান্য কমে। অন্যদিকে, বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বাড়াইলে, শিশিরাঙ্ক বাড়িয়া যাইবে। উপরি-উক্ত ক্ষেত্রে, ঘরের মধ্যে জল স্প্রে করিয়া জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বাড়াইয়া দিলে শিশিরাঙ্ক বাড়িয়া যাইবে। কারণ, এক্ষেত্রে মোট জলীয় বাষ্প আরও অধিক তাপমাত্রায় ঘরের বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে সক্ষম হইবে।

বিভিন্ন তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ বিজ্ঞানী **রেনো (Regnault)** কর্তৃক প্রস্তুত তালিকা হইতে পাওয়া যায়। সুতরাং কোন সময়ে বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপ মাপিয়া রেনোর তালিকা হইতে

সেই সময়ে শিশিরাঙ্ক বাহির করা যায়। আবার, শিশিরাঙ্ক জানা থাকিলে তালিকা হইতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপও বাহির করা যায়।

খুব সাধারণ পরীক্ষার মাধ্যমে শিশিরাঙ্ক মোটামুটিভাবে বাহির করা সম্ভব। একটি পাতলা বীকারে কিছু জল লইয়া উহার মধ্যে একখণ্ড বরফ ফেলিয়া দেওয়া হইল। জলটি নাড়িতে থাকিলে কিছুক্ষণের মধ্যে বীকারের চারিপাশে ধোঁয়ার মত শিশিরের অবস্থিতি দেখা যায়। সেই মুহূর্তে বীকারের জলের তাপমাত্রা মাপিয়া লওয়া হয়। আবার বরফের টুকরাটি তুলিয়া অপেক্ষা করিলে একসময় শিশির অদৃশ্য হইতে দেখা যাইবে। সেই মুহূর্তে আবার তাপমাত্রা মাপা হয়। এই দুই তাপমাত্রার গড় মান ঐ সময়ের শিশিরাঙ্ক।

7.4. আপেক্ষিক আর্দ্রতা (Relative Humidity) **:** বায়ুর আর্দ্রতা বা চরম আর্দ্রতা বলিতে এক ঘনমিটার বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের পরিমাণকে বুঝায়। কিন্তু এই চরম আর্দ্রতা অপেক্ষা **আর্দ্রতার মাত্রা** (degree of saturation) বা আপেক্ষিক আর্দ্রতার জ্ঞান আবহাওয়া নির্ণয়ের পক্ষে সহায়ক। আর্দ্রতার বা শুষ্কতার বোধ কেবলমাত্র বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না, ইহার তাপমাত্রার উপরও নির্ভর করে। অর্থাৎ, কোন সময়ে স্বাভাবিক তাপমাত্রা ও শিশিরাঙ্কের পার্থক্যের উপর নির্ভরশীল। পার্থক্য যত বেশি হয়, বায়ুর শুষ্কতা তত বেশী মনে হয় এবং বিপরীতক্রমে পার্থক্য কম থাকিলে বায়ু অধিকতর আর্দ্র বলিয়া মনে হয়। কোন সময় বায়ু তাহার সংপৃক্ত অবস্থা হইতে কত ব্যবধানে আছে, তাহা সেই সময়ের বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

কোন সময়ে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলিতে ঐ সময়ে নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের পরিমাণ এবং বায়ুকে একই তাপমাত্রায় সংপৃক্ত করিতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের পরিমাণের অনুপাতকে বোঝায়।

অর্থাৎ, আপেক্ষিক আর্দ্রতা

$$= \frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর}}{\text{একই তাপমাত্রায় ঐ পরিমাণ বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভর}}$$

বাষ্পচাপ বাষ্পের ভরের সহিত সমানুপাতিক বলিয়া লিখিতে পারি,

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{একই তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

$$= \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{বায়ুর তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

আপেক্ষিক আর্দ্রতা সাধারণত শতকরা হিসাবে প্রকাশ করা হয়। কোন সময় যদি শিশিরাঙ্কের সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ f সে.মি. এবং বায়ুর তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ P সে. মি. হয়, তবে সংজ্ঞা অনুযায়ী

আপেক্ষিক আর্দ্রতা $=\frac{f}{P}$ ও শতকরা হিসাবে $\frac{f}{P} \times 100\%$

উদাহরণ (1) ঃ কোন সময়ে শিশিরাঙ্ক $12°C$ এবং বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা $21°C$ দেখা গেল। ঐ সময়ে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা বাহির কর।

[রেনোর তালিকা হইতে $12°C$ ও $21°C$-এ জলীয় টান যথাক্রমে 10·4 মি.মি. ও 18·5 মি.মি.]

উত্তর ঃ $\text{অাপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে জলীয় টান}}{\text{বায়ুর তাপমাত্রায় জলীয় টান}} \times 100\%$

$$= \frac{10{\cdot}4}{18{\cdot}5} \times 100\% = \mathbf{56{\cdot}2\%}$$

(2) $20°C$ তাপমাত্রায় বাতাসের আপেক্ষিক আর্দ্রতা 53% হইলে শিশিরাঙ্ক বাহির কর।

উত্তর ঃ $\cdot 53 = \frac{\text{শিশিরাঙ্কের জলীয় টান } (f)}{20°C\text{-এ জলীয় টান}}$

রেনোর তালিকা হইতে, $20°$-এ জলীয় টান $=17{\cdot}4$ মি. মি.

$\therefore\ f=17{\cdot}4 \times {\cdot}53$ মি. মি. $=9{\cdot}2$ মি. মি.

তালিকা হইতে, $10°C$-এ জলীয় টান 9·1 মি. মি. এবং $11°C$-এ টান 9·8 মি. মি.

$\therefore$ 9·2 মি. মি. জলীয় টান প্রায় $10{\cdot}3°C$ তাপমাত্রায় ঘটে।

$\therefore$ শিশিরাঙ্ক $=\mathbf{10{\cdot}3°C}$

(3) কোন আবদ্ধ স্থানের তাপমাত্রা যখন $15°C$ তখন শিশিরাঙ্ক $8°C$। তাপমাত্রা $10°C$-এ নামিয়া আসিলে শিশিরাঙ্ক কত হইবে? [$7°C$ এবং $8°C$-এ জলীয় টান যথাক্রমে 7·49 মি. মি. এবং 8·02 মি. মি.] [C.U. 1949]

উত্তর ঃ শিশিরাঙ্কের উপরে বাষ্প সাধারণ গ্যাস-সূত্র মানিয়া চলে। সুতরাং $15°C$-এ বাষ্প চাপ f_1 এবং $10°C$-এ বাষ্পচাপ f_2 হইলে

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{15+273}{10+273} = \frac{288}{283}$$

এখন, f_1=8°C-এ সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ=8·02 মি. মি.

$$\therefore \frac{8{\cdot}02}{f_2}=\frac{288}{283}$$

$$\text{বা, } f_2=8{\cdot}02\times\frac{283}{288}=7{\cdot}88 \text{ মি. মি.}$$

এখন, যে তাপমাত্রায় সংপৃক্ত বাষ্প-চাপ 7·88 মি. মি. হইবে তাহাই 10°C-এ শিশিরাঙ্ক হইবে।

8°C-এ জলীয় টান=8·02 মি.মি. এবং 7°C-এ জলীয় টান=7·49 মি.মি.

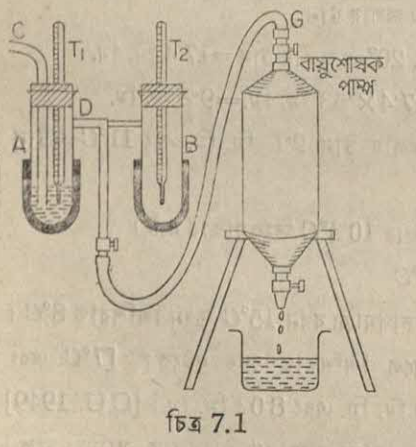
সুতরাং 1°C তাপমাত্রার পার্থক্যে জলীয় টানের পার্থক্য (8·02−7·49) মি. মি. বা 0·53 মি. মি.

∴ (8·02−7·88) মি. মি. বা 0·14 মি. মি. জলীয় টানের পার্থক্যে তাপমাত্রার পার্থক্য হইবে $\frac{0{\cdot}14}{0{\cdot}53}=\frac{14}{53}°C=\frac{1}{4}°C$ (প্রায়)।

∴ নির্ণেয় শিশিরাঙ্ক হইবে $(8-\frac{1}{4})°C$ বা $7\frac{3}{4}°C$

7.5. আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় (Determination of relative humidity) :

রেনোর হাইগ্রোমিটারের (Regnault's hygrometer) সাহায্যে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা বাহির করা যায়। হাইগ্রোমিটার বলিতে এমন একটি যন্ত্রকে বুঝায় যাহার দ্বারা বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের পরিমাণমূলক ধারণা করা যায়। রেনোর হাইগ্রোমিটারের সাহায্যে সরাসরি আপেক্ষিক আর্দ্রতা বাহির করা যায় না। ইহাতে বায়ুর তাপমাত্রায় শিশিরাঙ্ক বাহির করা হয়। রেনোর তালিকা হইতে বায়ুর তাপমাত্রা ও শিশিরাঙ্কে জলীয় টান দেখিয়া আপেক্ষিক আর্দ্রতা হিসাব করা হয়। চিত্রে (চিত্র 7.1) রেনোর হাইগ্রোমিটারের নক্শাটি দেখান হইয়াছে। A এবং B দুইটি মোটা কাচনল—ইহাদের নীচের দিকের খানিকটা অংশ রূপার পাতে মোড়া। A নলে কিছুটা ইথার রাখা আছে। ইহার সহিত D সরু নলের মাধ্যমে একটি বায়ুশোষক পাম্প



চিত্র 7.1

G যুক্ত আছে। পাম্পটি একটি প্যাচকল যুক্ত জলাধার (aspirator) ছাড়া আর কিছুই না। প্যাচকল খুলিয়া জল বাহির হইতে দিলে A নলের বাতাস পাম্পে জলের শূন্যস্থানে চলিয়া আসে এবং C নল দিয়া A নলে ইথারের মধ্যে বাহিরের বায়ু প্রবেশ করে। ইথারের উপরিস্থিত বায়ুচাপ কমিয়া যাওয়ায় এবং ইথারের মধ্যে বায়ু চলাচলের ফলে ইথার দ্রুত বাষ্পীভূত হয়। ইহাতে A নল এবং তাহার চতুপার্শ্বস্থ বায়ু ঠাণ্ডা হইতে থাকে। তাপমাত্রা যখন শিশিরাঙ্কে পৌঁছায় তখন A নলের রূপার পাতে বিন্দু বিন্দু শিশির জমে। ইহাতে রূপার পাতের উজ্জ্বলতা কমিয়া যায় এবং পার্শ্ববর্তী B নলের পাতের সহিত তুলনায় তাহা সহজে ধরা পড়ে। সেই সময় T_1 থার্মোমিটারে তাপমাত্রা দেখা হয়। জলাধারের প্যাচকল এবার বন্ধ করিলে A নলের তাপমাত্রা আবার বাড়িতে থাকে এবং যে মুহূর্তে শিশির বাষ্পীভূত হয় এবং পাতের উজ্জ্বলতা ফিরিয়া আসে, সেই মুহূর্তে T_1 থার্মোমিটারের আবার পাঠ নেওয়া হয়। এই দুই পাঠের গড় মান ঐ সময়ে শিশিরাঙ্ক নির্দেশ করে। B নলটি সরাসরি পরীক্ষার কাজে লাগে না, তবে ইহার সাহায্যে A নলের রূপার পাতের উজ্জ্বলতার তারতম্য সহজে বিচার করা সম্ভব হয়। B নলের মধ্যে T_2 থার্মোমিটার ঐ সময়ে বায়ুর তাপমাত্রা নির্দেশ করে।

এখন, তালিকা হইতে শিশিরাঙ্কে জলীয় টান f এবং বায়ুর তাপমাত্রায় জলীয় টান P হইলে, আপেক্ষিক আর্দ্রতা$=\frac{f}{P}\times 100\%$

এই পরীক্ষায় টেলিস্কোপের সাহায্যে দূর হইতে পর্যবেক্ষণ করা উচিত, নতুবা নিশ্বাস-প্রশ্বাস ও দেহের তাপমাত্রার প্রভাবে শিশিরাঙ্কের পরিবর্তন হইতে পারে। T_1 থার্মোমিটারটি ইথারে ডুবান থাকে, একারণে রূপার পাতের তাপমাত্রা সর্বদা ইথারের তাপমাত্রায় থাকা উচিত। রূপা তাপের সুপরিবাহী বলিয়া তাপের সমতার জন্য রূপার পাত ব্যবহার করা হয়।

7.5a. সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের তালিকা (আংশিক)

(রেনোর তালিকা)

তাপমাত্রা °C	চাপ মি. মি.	তাপমাত্রা °C	চাপ মি. মি.	তাপমাত্রা °C	চাপ মি. মি.
5	6·5	11	9·84	17	14·52
6	7·0	12	10·52	18	15·46
7	7·51	13	11·23	19	16·46
8	8·04	14	11·98	20	17·51
9	8·61	15	12·78	25	23·69
10	9·21	16	13·63	30	31·71

7.6. প্রাত্যহিক জীবনে আপেক্ষিক আর্দ্রতার প্রভাব (Influence of relative humidity on daily life) :

(i) বায়ুমণ্ডলের আর্দ্রতা বা শুষ্কতার অনুভূতি উহার আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে। আপেক্ষিক আর্দ্রতা যত কম হয় অর্থাৎ শিশিরাঙ্কের মান স্বাভাবিক তাপমাত্রা হইতে যত নীচে হয়, বায়ু তত শুষ্ক বলিয়া মনে হয়। শুষ্ক বায়ুতে দ্রুত বাষ্পীভবন ঘটে, এজন্য দেহের ঘাম তাড়াতাড়ি শুকাইয়া যায় ও দেহ ঠাণ্ডা হয়। অন্যদিকে, আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশি হইলে ঘাম তাড়াতাড়ি শুকাইতে পারে না, তজ্জন্য অস্বস্তি ঘটে। দেখা গিয়াছে, আপেক্ষিক আর্দ্রতার মান 50 – 60% পর্যন্ত থাকিলে আমরা বিশেষ অস্বস্তি পাই না।

নদী এবং সমুদ্রতীরবর্তী অঞ্চলে ব্যাপক বাষ্পীভবনের জন্য আপেক্ষিক আর্দ্রতার পরিমাণ তুলনামূলকভাবে একই তাপমাত্রার অন্যান্য অঞ্চল অপেক্ষা বেশি। পুরী এবং দিল্লীর একই তাপমাত্রা থাকিলেও দিল্লী সমুদ্র হইতে দূরে বলিয়া দিল্লীর আবহাওয়া অধিকতর শুষ্ক এবং এই কারণে আরামদায়ক।

(ii) বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বাড়িয়া গেলে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বাড়ে। সুতরাং আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশি হইলে বৃষ্টিপাতের সম্ভাবনা থাকে। সেকারণে, আবহাওয়া অফিস আপেক্ষিক আর্দ্রতার ও শিশিরাঙ্কের হিসাব রাখে।

(iii) আর্দ্র আবহাওয়া কার্পাস, বস্ত্র ইত্যাদি শিল্পের খুব সহায়ক। এই কারণে, আর্দ্র আবহাওয়ার অঞ্চলে ঐ সমস্ত শিল্প গড়িয়া উঠে। সুতরাং এই সমস্ত শিল্পের প্রয়োজনে আপেক্ষিক আর্দ্রতার জ্ঞান থাকা দরকার।

(iv) বর্ষাকালে বায়ুমণ্ডলে আপেক্ষিক আর্দ্রতা খুব বেশি থাকে। এজন্য ভিজা কাপড় দ্রুত শুকাইতে চাহে না। অন্যদিকে শীতকালে তাপমাত্রা কম থাকিলেও আপেক্ষিক আর্দ্রতার মান খুব কম থাকায় অপেক্ষাকৃত দ্রুত বাষ্পীভবন হয় এবং ভিজা কাপড় বর্ষাকাল অপেক্ষা দ্রুত শুকায়। আবার, আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম থাকার দরুন শীতকালে ঠোঁট, হাত-পা ইত্যাদি ফাটিয়া থাকে।

(v) ফলমূল ও খাদ্যশস্য সংরক্ষণের ব্যাপারে আপেক্ষিক আর্দ্রতার বিশেষ ভূমিকা আছে। অপেক্ষাকৃত কম আপেক্ষিক আর্দ্রতায় খাদ্যশস্য ভাল থাকে, এজন্য খাদ্যশস্যের গুদাম প্রয়োজনবোধে শুষ্ক রাখিবার বন্দোবস্ত থাকে।

* অনেক রোগজীবাণু অধিকতর আর্দ্র আবহাওয়ায় দ্রুত বংশবিস্তার করে। আপেক্ষিক আর্দ্রতার হিসাব রাখিয়া এই বিষয়েও প্রয়োজনীয় সতর্কতা অবলম্বন করা হয়।

7.7. জলীয় বাষ্প ও আর্দ্র বায়ুর ভর (Mass of aqueous vapour and mass of moist air) :

অনেক সময় নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুতে জলীয় বাষ্পের ভর এবং আর্দ্র বায়ুর ভর নির্ণয়ের প্রয়োজন হয়। জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব শুষ্ক বায়ুর ঘনত্বের 8 ভাগের 5 ভাগ, অর্থাৎ, জলীয় বাষ্প শুষ্ক বায়ু অপেক্ষা হাল্কা। অসংপৃক্ত বাষ্প গ্যাসসূত্র মানিয়া চলে। সুতরাং আমরা নিম্নলিখিত উপায়ে নির্দিষ্ট পরিমাণ আর্দ্র বায়ুর ভর নির্ণয় করিতে পারি।

মনে করি $t°C$ তাপমাত্রায় ও P মি.মি. পারদস্তম্ভের চাপে V সি.সি. আর্দ্র বায়ু আছে। ঐ সময়ে জলীয় চাপের f মি.মি. হইলে শুষ্ক বায়ুর চাপ= $(P-f)$ মি.মি.। প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় (760 মি.মি. চাপে ও $0°C$-এ) V সি.সি. শুষ্ক বায়ুর আয়তন V_0 হইলে, $V_0 = V \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P-f}{760}$ সি.সি.

প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় 1 সি.সি. শুষ্ক বায়ুর ভর=·001293 গ্রাম এবং

1 সি.সি. জলীয় বাষ্পের ভর $=\frac{5}{8} \times \cdot 001293$ গ্রাম।

∴ " " " V_0 সি.সি. শুষ্ক বায়ুর ভর $= \cdot 001293 \times V_0$

$$= \cdot 001293 \times V \times \frac{273}{273+t} \cdot \frac{P-f}{760} \text{ গ্রাম} \quad \cdots\cdots(1)$$

এবং একইভাবে V_0 সি.সি. জলীয় বাষ্পের ভর

$$= \frac{5}{8} \times \cdot 001293 \times V \times \frac{273}{273+t} \cdot \frac{f}{760} \text{ গ্রাম} \quad \cdots\cdots(2)$$

∴ V সি.সি. আর্দ্র বায়ুর ভর

$$= \cdot 001293 \times V \times \frac{273}{273+t} \cdot \frac{P-f}{760} + \frac{5}{8} \times$$

$$\cdot 001293 \times V \times \frac{273}{273+t} \cdot \frac{f}{760} \text{ গ্রাম [(1) এবং (2) যোগ করিয়া]}$$

$$= \cdot 001293 \times V \times \frac{273}{273+t} \left[\frac{P-f}{760} + \frac{5}{8} \frac{f}{760}\right] \text{ গ্রাম}$$

$$= \cdot 001293 \times V \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P-0\cdot 38f}{760} \text{ গ্রাম}$$

উদাহরণ (4) : $27°C$ তাপমাত্রায় ও 750 মি.মি. চাপে 4 লিটার বাতাসের ভর নির্ণয় কর।

(ঐ সময়ে শিশিরাঙ্ক $18°C$ এবং শিশিরাঙ্কে জলীয় টান $=15·46$ মি.মি.)

উত্তর : জলীয় বাষ্পের চাপ $=15·46$ মি.মি., সুতরাং শুষ্ক বাতাসের চাপ $=750-15·46=734·54$ মি.মি.

প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় 4 লিটার শুষ্ক বাতাসের আয়তন

$$=4\times\frac{273}{273+27}\times\frac{734·54}{760} \text{ লিটার}$$

এবং প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় 4 লিটার জলীয় বাষ্পের আয়তন

$$=4\times\frac{273}{273+27}\times\frac{15·46}{760} \text{ লিটার}$$

$$\therefore \text{ শুষ্ক বাতাসের ভর}=4\times\frac{273}{300}\times\frac{734·54}{760}\times1·293 \text{ গ্র্যাম}$$

$$=4·551 \text{ গ্র্যাম (প্রায়)}$$

$$\text{এবং জলীয় বাষ্পের ভর}=4\times\frac{273}{300}\times\frac{15·46}{760}\times1·293\times\tfrac{5}{8} \text{ গ্র্যাম}$$

$$=0·0599 \text{ গ্র্যাম (প্রায়)}$$

$\therefore$ নির্ণেয় আর্দ্র বাতাসের ভর $=4·551+0·0599=$ **4·61 গ্র্যাম** (প্রায়)

7.8. জলীয় বাষ্পের ঘনীভবন (Condensation of aqueous vapour) :

বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের ঘনীভবনের ফলে মেঘ, কুয়াশা, শিশির ইত্যাদির উদ্ভব ঘটে। নীচে ইহাদের সম্বন্ধে সংক্ষেপে বলা হইল।

(a) মেঘ (Cloud) : পৃথিবীপৃষ্ঠে অনবরত বাষ্পীভবনের দরুন প্রচুর জলীয় বাষ্প উৎপন্ন হয় এবং জলীয় বাষ্প বায়ু অপেক্ষা হাল্কা বলিয়া উপরে উঠিয়া যায়। উপরের বায়ুস্তর অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা এবং সেখানে বায়ুর চাপও অনেক কম। ফলে জলীয় বাষ্প উপরের বায়ুস্তরে চাপ-হ্রাসের দরুন প্রসারিত হয় এবং ঠাণ্ডা হয়। তাপমাত্রা শিশিরাঙ্কে বা তারও নীচে নামিলে অতিরিক্ত বাষ্প ভাসমান ধূলিকণা ইত্যাদিকে আশ্রয় করিয়া জলকণায় পরিণত হয় এবং ইতস্ততঃ ভাসিতে থাকে বা একস্থানে স্থির হইয়া থাকে। এইরূপ ভাসমান জলকণা সমূহকেই মেঘ বলা হয়। জলকণাসমূহ পরস্পর সংবদ্ধ হইয়া বড় আকার ধারণ করে এবং তখন নীচে পড়িতে থাকে। ইহাই বৃষ্টিপাতের কারণ।

(b) **কুয়াশা ও কুজ্ঝটিকা** (Fog and mist) : মেঘের মতই বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্পের ঘনীভবনের দরুন কুয়াশা ও কুজ্ঝটিকার উৎপত্তি হয়। তফাৎ এই যে, মেঘ বায়ুমণ্ডলের উপরের স্তরে আর কুয়াশা মাটির কাছাকাছি তৈয়ারী হয়। পৃথিবীপৃষ্ঠের কোন স্থানে তাপমাত্রা হঠাৎ কমিয়া আসিলে বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প ক্রমশ সংপৃক্ত হইতে থাকে এবং তাপমাত্রা শিশিরাঙ্কের নীচে নামিলে সংপৃক্ত বাষ্প বাতাসের ধূলিকণা, কয়লার গুঁড়া ইত্যাদিকে আশ্রয় করিয়া বিন্দু বিন্দু জলকণায় পরিণত হয়, ইহাকে **কুয়াশা** বলে। ইহা সাধারণতঃ বায়ুপ্রবাহহীন রাত্রিকালে দেখা যায়—বেলা বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে ইহা অপসৃত হইতে থাকে। **কুজ্ঝটিকাকে** ঘন কুয়াশা বলা যায়। সাধারণত পর্বতগাত্রে, জলা জায়গায় কুজ্ঝটিকা বেশি পরিমাণে দেখা যায়—ইহা প্রায় সূর্যোদয়ের সঙ্গে সঙ্গেই অপসৃত হয়।

(c) **শিশির** (Dew) : বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা শিশিরাঙ্কে বা তাহার নীচে আসিলে অতিরিক্ত জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া টিনের চাল, ঘাস-পাতা ইত্যাদির উপর ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণায় পরিণত হয়। ইহাকে **শিশির** বলে। রাত্রির শেষভাগে তাপমাত্রা সর্বাপেক্ষা কম থাকে বলিয়া ঐ সময়েই প্রচুর শিশির জমা হইতে দেখা যায়। সাধারণত হেমন্ত ও শীতকালে এইরূপ শিশির জমে।

নিম্নলিখিত অবস্থাগুলি শিশিরপাতের অত্যন্ত অনুকূল।

(i) **মেঘহীন পরিষ্কার আকাশ**—নির্মল আকাশ পৃথিবীপৃষ্ঠের তাপ দ্রুত বিকিরণের সহায়ক—ইহাতে তাপমাত্রা শিশিরাঙ্কে নামিয়া আসিতে পারে।

(ii) **বদ্ধ বায়ুপ্রবাহ**—বায়ুপ্রবাহ বন্ধ থাকিলে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্প প্রয়োজনীয় সময় ধরিয়া শীতল বস্তুর সংস্পর্শে থাকিতে পারে।

(iii) **তাপের উত্তম বিকিরক**—যে সকল বস্তু দ্রুত তাপ বিকিরণ করিয়া ঠাণ্ডা হয়, তাহাদের উপর শিশির জমিবার অনুকূল অবস্থার সৃষ্টি হয়। এ কারণে, টিন বা লোহার পাত, ঘাস ও গাছপালার পাতায় বেশি পরিমাণে শিশির জমে।

(iv) **পৃথিবীপৃষ্ঠের সান্নিধ্য**—বস্তু পৃথিবীপৃষ্ঠের যত নিকটবর্তী হয়, শিশির জমিবার পক্ষে তত অনুকূল। কেবলমাত্র বায়ুমণ্ডলের উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ঘনীভবনের জন্যই যে শিশির হয় তাহা নহে, আর্দ্র মাটি এবং গাছপালা হইতে নির্গত বাষ্পও প্রচুর পরিমাণে শিশির উৎপন্ন করে।

প্রশ্নাবলী

1. সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্প কাহাকে বলে? উহাদের পার্থক্য বুঝাইয়া বল। ঘরের তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ পরিমাপ করিবার একটি সহজ পদ্ধতি বর্ণনা কর। 15°C তাপমাত্রায় জলীয় টান 12·7 মি.মি. বলিতে কি বুঝায়?

[What are meant by saturated and unsaturated vapours? Describe a simple experiment to determine aqueous tension at room temperature. What do you mean by aqueous tension at 15°C is 12·7 m.m.?]

2. শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা লিখ এবং ব্যাখ্যা কর। কখন বায়ুর তাপমাত্রা শিশিরাঙ্কের সমান হয়? কোন ঘরের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে উহা (i) শিশিরাঙ্ক এবং (ii) আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর কি প্রভাব বিস্তার করিবে?

[Define dew-point and relative humidity and explain them. When the dew-point is equal to the temperature of the atmosphere? If the temperature of a room is raised, will be its effect on (i) dew-point and (ii) relative humidity?]

3. হাইগ্রোমিটার কাহাকে বলে? রেনোর হাইগ্রোমিটারের বিবরণ ও কার্যপ্রণালী বল।

[What is a hygrometer? Describe and explain the action of a Regnault's hygrometer.]

4. একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর নির্ণয় করিবার প্রয়োজনীয় সম্পর্কটি বাহির কর। প্রাত্যহিক জীবনে আপেক্ষিক আর্দ্রতার প্রভাব সংক্ষেপে বল।

[Find out the useful relation to determine the mass of aqueous vapour present in a given volume of moist air. State the influence of relative humidity on daily life.]

5. নিম্নলিখিতগুলির উৎপত্তির কারণ ব্যাখ্যা কর:

(a) মেঘ, (b) কুয়াশা ও কুজ্ঝটিকা ও (c) শিশির।

কোন কোন বস্তুর উপর শিশির বেশী জমে কেন?

[Explain the causes of formation of (a) clouds, (b) fog

and mist and (c) dew. Why dew is found to be more copious on some substances than others ?]

6. কারণ বল : (i) শীতকালের বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক তাপমাত্রা বর্ষাকাল হইতে কম, তথাপি শীতকালে ভিজা কাপড় দ্রুত শুকায়। (ii) গরমের সময় কোনও দিন পুরী ও দিল্লীতে তাপমাত্রা সমান থাকিলেও, পুরী অপেক্ষা দিল্লী আরামপ্রদ মনে হয়। (iii) বড় এক টুকরা বরফকে বায়ুতে রাখিলে উহার চারিপাশে কুয়াশা দেখা যায়। (iv) মসৃণ কাচ অপেক্ষা ঘাসে অধিক শিশির জমে। (v) মেঘমুক্ত নির্মল আকাশ শিশির জমিবার পক্ষে সহায়ক।

7. কোন এক দিন বায়ুর তাপমাত্রা ছিল 16·5°C এবং তখন শিশিরাঙ্ক পাওয়া গেল 12°C। বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা বাহির কর। (12°, 16° এবং 17°C-এ জলীয় টান যথাক্রমে 10·46, 13·64 এবং 14·42 মি.মি.)

[One day when the temperature of the air was 16·5°C, the dew point was found to be 12°C. Find the relative humidity, given saturation vapour pressures at 12°C, 16°C, and 17°C are 10·46 m.m., 13·64 m.m. and 14·42 mm. respestively.] [Ans. 74·5%] [C.U. 1935]

8. 20°C তাপমাত্রার একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুর শিশিরাঙ্ক 15°C পাওয়া গেল। তাপমাত্রা 10°C-এ নামিয়া আসিলে কত পরিমাণ বাষ্প ঘনীভূত হইবে? 10°, 15° এবং 20°C তাপমাত্রায় জলীয় টান যথাক্রমে 9·2, 12·8 এবং 17·5 মি.মি.।

[A mass of air has the dew point 15°C, its temperature being 20°C. How much vapour will condense, if the temperature comes down to 10°C ? The saturation vapour pressures are 9·2, 12·8 and 17·5 m.m. at 10°, 15° and 20°C respectively ?] [Ans. 28%]

9. 27°C তাপমাত্রায় 7·5 লিটার আর্দ্র বায়ুর চাপ 762·75 মি.মি.। শিশিরাঙ্ক 15°C হইলে, উক্ত বায়ুর ভর এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় কর। 27° এবং 15°C তাপমাত্রায় জলীয় টান যথাক্রমে 25·5 এবং 12·75 মি.মি.।

[Calculate the mass and humidity of 7·5 litres of moist air at 27°C, given that the dew-point is 15°C and the barometric height 762·75 mms. Vapour pressures of water at 27° and 15°C are 25·5 and 12·75 mms. respectively.]

[Ans. 8·9 gms, 50%]

অষ্টম অধ্যায়

তাপের যান্ত্রিক সমতা

(Mechanical Equivalence of heat)

8.1. **তাপের প্রকৃতি সম্পর্কে মতবাদ** (Theories of the nature of heat) **:** তাপ যে একপ্রকার শক্তি এবং বিভিন্ন প্রকার শক্তিকে তাপশক্তিতে এবং তাপশক্তিকে অন্যান্য শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়, তাহা তাপবিজ্ঞানের প্রথম অধ্যায়ে আলোচনা করা হইয়াছে। তাপ সম্পর্কে এই ধারণা খুব বেশী দিনের নয়। তাপের প্রকৃতি সম্পর্কে বিভিন্ন সময়ের বিভিন্ন মতবাদ সংক্ষেপে আলোচনা করা হইল।

(i) **ক্যালরিক মতবাদ** (Caloric theory) **:** উনবিংশ শতাব্দীর প্রথমভাগ পর্যন্ত বিজ্ঞানীদের ধারণা ছিল, তাপ একপ্রকার অদৃশ্য বস্তু কণা; ইহা গ্যাসীয় বা তরল আকারে একপদার্থ হইতে অন্যপদার্থে সঞ্চালিত হইয়া বস্তুকে গরম বা ঠাণ্ডা করে। এই অদৃশ্য পদার্থকে ভারহীন এবং আত্মনিরোধক (self-repellent) বলিয়া মনে করা হইত এবং ইহাকে ক্যালরিক বলা হইত। এই ক্যালরিক কোন বস্তুতে প্রবেশ করিলে বস্তুটি গরম হইয়া উঠিত, বিপরীতক্রমে, ক্যালরিক বর্জনে বস্তু ঠাণ্ডা হইত। ক্যালরিক মতবাদ অনুযায়ী বিভিন্ন পদার্থের রাসায়নিক গঠনের পার্থক্যহেতু উহাদের ক্যালরিক গ্রহণের ক্ষমতা বিভিন্ন এবং ইহাই উহাদের আপেক্ষিক তাপের বিভিন্নতার কারণ। আরও, ক্যালরিককে অবিনশ্বর বলিয়া মনে করা হইত, ফলে ক্যালরিমিতির মূল-নীতি এই মতবাদ কর্তৃক সমর্থিত হয়।

(ii) **গতীয় মতবাদ** (Dynamical theory) **:** কাউন্ট রামফোর্ড (Count Rumford), হামফ্রে ডেভী (Humphry Davy), জেম্‌স প্রেস্‌কট জুল (James Prescot Joule) প্রভৃতি বিজ্ঞানীদের পরীক্ষা-নিরীক্ষায় ক্যালরিক মতবাদ যে সম্পূর্ণরূপে ভ্রান্ত, তাহা প্রমাণিত হইয়াছে। পরিবর্তে, তাপ পদার্থের ভিতরের অণুগুলির গতিশক্তির সহিত সম্পর্কযুক্ত এবং **তাপ গতির একপ্রকার রূপ** (Heat is a form of motion)—এই মতবাদ গৃহীত হইয়াছে। ইহাই তাপের গতীয় মতবাদ।

1798 খ্রীষ্টাব্দে কাউণ্ড রামফোর্ড তুরপুনের সাহায্যে কামানে এক ছিদ্র করিবার সময় লক্ষ্য করেন যে, নল এবং তুরপুন উভয়েই প্রচণ্ড উত্তপ্ত হইয়া

উঠিতেছে। যতক্ষণ ছিদ্র করিবার কাজ চলে তাপ সৃষ্টিও ততক্ষণ অব্যাহত থাকে। তিনি আরও লক্ষ্য করেন, ধাতুর খণ্ড খণ্ড অবস্থায় যে আপেক্ষিক তাপ, গোটা অবস্থাতেও আপেক্ষিক তাপ একই। পরিপার্শ্ব হইতে ক্যালরিক প্রবাহ ঘটে কিনা, তাহা দেখিবার জন্য তিনি ধাতুখণ্ডকে জলে ডুবাইয়া পরীক্ষা করিলেন এবং দেখিলেন, অল্প সময়ের মধ্যেই প্রচুর পরিমাণ তাপ উদ্ভূত হইয়াছে এবং জলও তদনুযায়ী উষ্ণ হইয়াছে। এইসব পরীক্ষা হইতে তিনি ক্যালরিকের অস্তিত্ব সম্পর্কে সন্দিহান হইলেন।

ইহার একবছর পরে হামফ্রে ডেভী ক্যালরিক মতবাদের সত্যতা যাচাই করিবার উদ্দেশ্যে একটি পরীক্ষা করেন। তিনি দুইটুকরা বরফকে বায়ুশূন্য স্থানে $-2°C$ তাপমাত্রায় ঘর্ষণ করিয়া দেখিলেন যে, ঘর্ষণজনিত তাপ টুকরা দুইটিকে গলাইয়া ফেলিল। এক্ষেত্রে, বরফ গলানোর জন্য প্রয়োজনীয় তাপ পরিপার্শ্ব হইতে আসে নাই। উপরন্তু, বরফ অপেক্ষা জলের আপেক্ষিক তাপ বেশী। সুতরাং, এই অতিরিক্ত তাপ কোথা হইতে আসিল? ক্যালরিক মতবাদ ইহার সদুত্তর দিতে পারিল না। ডেভী সিদ্ধান্ত করিলেন, ঘর্ষণের ফলেই এই তাপের উদ্ভব হইয়াছে। শুধু তাহাই নহে, পদার্থের অণু পরমাণুর স্বতঃ স্পন্দনশীলতা উহার মোট তাপের কারণ। কোন পদার্থে তাপ প্রয়োগ করিলে অণুগুলির স্পন্দন দ্রুততর হয়। অর্থাৎ, উহাদের গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়। বিপরীতক্রমে, পদার্থকে শীতল করিলে অণুগুলির গতিশক্তি হ্রাস পায়। সুতরাং তাপ একপ্রকার শক্তি এবং পদার্থের মধ্যে এই শক্তি অণুগুলির গতিশক্তিতে রূপান্তর লাভ করে। নিত্যতা সূত্রানুযায়ী যেহেতু শক্তির বিনাশ নাই, কেবলমাত্র রূপান্তর আছে, সেহেতু একপ্রকার শক্তিকে অন্যপ্রকারে পরিবর্তিত করা সম্ভব। ইহার পর, প্রেস্‌কট জুল তাপ ও যান্ত্রিক শক্তির পারস্পরিক রূপান্তরের উপর পরীক্ষা-নিরীক্ষা করিয়া সিদ্ধান্ত করেন যে নির্দিষ্ট পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তির বিনিময়ে নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ-শক্তি পাওয়া যায়। তিনি ইহাকে একটি সূত্রের আকারে উপস্থাপিত করেন।

8.2. জুলের সূত্র (Joule's law) : বিজ্ঞানী জেম্‌স প্রেস্‌কট জুল সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন, **যান্ত্রিক শক্তির বিনিময়ে যে তাপশক্তি পাওয়া যায়, তাহা ব্যয়িত যান্ত্রিক শক্তির সমানুপাতিক।** ইহাকে জুলের সূত্র বলে। এই সূত্রানুযায়ী যদি W কার্যকে রূপান্তরিত করিয়া H পরিমাণ তাপ উৎপন্ন করা হয়, তবে $W \propto H$ অথবা $W=JH$.

এখানে J একটি ধ্রুবক এবং ইহাকে **তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক** (Mechanical equivalent of heat) বা **তাপের জুল তুল্যাঙ্ক** (Joule's equivalent of heat) বলে। J-কে সাধারণত জুলে প্রকাশ করা হয়, এবং ইহার সাংখ্যমান 4·2। সুতরাং সি. জি. এস.-পদ্ধতি অনুযায়ী 1 ক্যালরি তাপ উৎপন্ন করিতে 4·2 জুল বা 4.2×10^7 আর্গস কার্য করা দরকার। এই পদ্ধতি অনুযায়ী $J = 4.2 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি বা 4·2 জুল/ক্যালরি। এফ. পি. এস পদ্ধতিতে এই তুল্যাঙ্কের মান 778 ফুট-পাউণ্ড/ব্রিটিশ থার্মাল একক, অর্থাৎ 778 ফুট-পাউণ্ড কার্য করিলে 1 ব্রিটিশ থার্মাল একক তাপ উৎপন্ন হইবে।

জুলের সূত্রকে ব্যাপক অর্থে প্রয়োগ করিয়া বলা হয় যে, যখনই কোন বস্তুকে তাপ প্রদান করা হয়, তখন উহার কিছুটা অংশ বস্তুর অন্তর্নিহিত শক্তি বৃদ্ধি করে এবং বাকী অংশ বস্তুকে বাহ্য কাজ করিতে সহায়তা করে। কোন বস্তুকে অতি ক্ষুদ্র 'dQ' পরিমাণ তাপ সরবরাহ করিলে যদি 'dU' ক্ষুদ্র পরিমাণ অন্তর্নিহিত শক্তির বৃদ্ধি হয় এবং বাহ্য কাজের পরিমাণ 'dW' হয়, তবে শক্তির নিত্যতা সূত্রানুযায়ী

$$dQ = dU + dW$$

তাপশক্তির সহিত যান্ত্রিক শক্তির এই সম্পর্ককে **তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র** (1st law of thermodynamics) বলে। এখানে dQ-কে শক্তির এককে প্রকাশ করা হইয়াছে। তাপ গতিবিদ্যার মতে বাহ্য কাজ (dW) নানারকমের হইতে পারে। তাপ-গতিবিদ্যা বলিতে তাপ এবং গতি বা যান্ত্রিক শক্তি সম্পর্কে আলোচনা বুঝাইলেও সাধারণভাবে শক্তির নিত্যতা সূত্রকে তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র বলিয়া অভিহিত করা হয়।

8.3. J র মান নির্ণয় (Determination of the value of J) :

(i) **পতনশীল বস্তুর পরীক্ষা** (Falling-body experiment) : একটি নির্দিষ্ট উচ্চতা হইতে বস্তুর পতন-জনিত কার্য তাপে রূপান্তরিত হইলে কৃত-কার্য ও উদ্ভূত তাপ পরিমাপ করিয়া J-র মান মোটামুটিভাবে বাহির করা সম্ভব। পরীক্ষাগারে এই ধরনের একটি সহজ পরীক্ষার মাধ্যমে J-র মান নির্ণয় করা হয়। একটি অর্ধ-মিটার লম্বা কাচনলের মধ্যে অল্প পরিমাণ পারদ রাখিয়া নলের দুই মুখ কর্কের ছিপি দিয়া বন্ধ করা হয়। নলটিকে খাড়াভাবে রাখিয়া হঠাৎ উল্টাইয়া ধরিলে পারদ নীচে পড়িবে এবং এই পতন-জনিত কার্য

তাপে রূপান্তরিত হইয়া পারদের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিবে (চিত্র 8.1)। কয়েক-বার এইভাবে দ্রুত উল্টাইলে যে তাপমাত্রা বৃদ্ধি ঘটিবে, তাহা একটি থার্মো-মিটারের সাহায্যে মাপিয়া লওয়া হয়।

মনে করি, কাচনলে পারদের ভর$=m$ গ্র্যাম

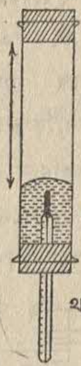
পারদের আপেক্ষিক তাপ$=S$

যে উচ্চতা হইতে পারদ পড়ে, তাহা$=x$ সে.মি.

পারদের তাপমাত্রা বৃদ্ধি$=t°C$

$\therefore$ একবার উল্টানোর ফলে পারদ কর্তৃক কৃতকার্য$=mgx$ আর্গ

n-বার এইভাবে উল্টানো হইলে মোট কৃত-কার্য$=nmgx$ আর্গ



চিত্র 8.1

এই কার্য তাপে রূপান্তরিত হইলে, জুলের সূত্রানুযায়ী, উদ্ভূত তাপ$=\frac{nmgx}{J}$ ক্যালরি।

এখন, পারদ কর্তৃক গৃহীত তাপ$=mst$ ক্যালরী

$\therefore$ অন্যভাবে তাপ ব্যয়িত না হইলে অর্থাৎ, উদ্ভূত তাপের সবটুকুই পারদ গ্রহণ করিলে, $mst=\frac{nmgx}{J}$

$$\therefore \quad J=\frac{ng.x}{st}$$

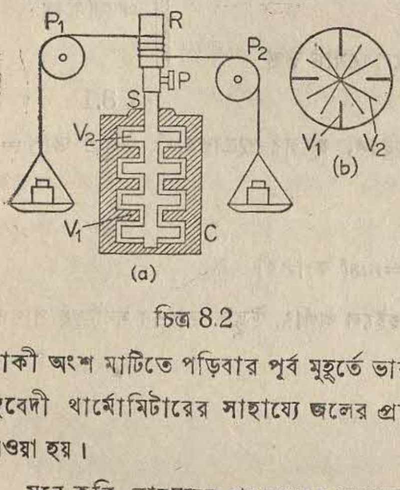
এই পরীক্ষায়, পরীক্ষা চলাকালীন কিছু তাপ বিকিরণের জন্য নষ্ট হইয়া যায়। উপরন্তু, কাচপাত্রও কিছুপরিমাণ তাপ গ্রহণ করে। ফলে J-র সঠিক মান পাওয়া যায় না। তবে মোটামুটিভাবে J-র মান নির্ণয় করিবার জন্য এই পদ্ধতি অবলম্বন করা যাইতে পারে।

(2) জুলের পদ্ধতি (Joule's method)ঃ 8.2-চিত্রে জুল ব্যবহৃত যন্ত্রটির নক্শা দেখান হইল। C একটি তামার ক্যালরিমিটার। ইহার মধ্যে কিছু পরিমাণ জল নেওয়া আছে। ক্যালরিমিটারের গায়ে উহার অক্ষের লম্ব বরাবর কয়েকটি ধাতব পাত (V_1) দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। অক্ষ বরাবর একটি ধাতব দণ্ড S, পিন P-এর মাধ্যমে D ড্রামের সহিত যুক্ত। কতকগুলি ধাতব পাত (V_2), S দণ্ডের সহিত আবদ্ধ। ইহাদের অবস্থান এমন যে S দণ্ডটি

ঘুরিলে V_2 পাতগুলি V_1 পাতগুলির ফাঁকে ফাঁকে ঘুরিতে পারে। D ড্রামের গায়ে জড়ানো দুইটি দৃঢ় রজ্জু P_1 এবং P_2 দুইটি পুলির উপর দিয়া গিয়াছে। রজ্জুদ্বয়ের প্রান্তে দুইটি সমান ভার ঝুলান আছে।

ভার দুইটিকে একটি নির্দিষ্ট উচ্চতা হইতে নীচে ফেলিয়া দিলে S দণ্ডটি ঘুরিতে থাকিবে। ইহার ফলে জলের মধ্যে V_2 পাতগুলির ঘূর্ণন শুরু হইবে এবং জল আলোড়িত হইবে। V_1 পাতগুলি জলের এই আলোড়নকে প্রতিহত করিতে চেষ্টা করিবে, ফলে জলের গতিশক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হইবে।

এই সময়ে P পিনের সাহায্যে D ড্রামকে দণ্ড হইতে বিচ্ছিন্ন করিয়া ভার দুইটিকে তুলিয়া প্রাথমিক অবস্থানে রাখা হয় এবং পিনের সাহায্যে ড্রামটিকে দণ্ডের সহিত আবদ্ধ করিয়া এই পরীক্ষা পুনরায় করা হয়। এইভাবে কয়েকবার ভার তুলিয়া পরীক্ষা করিলে ভারদ্বয়ে সঞ্চিত স্থিতিশক্তির কিয়দংশ জলের মধ্যে তাপশক্তিরূপে রূপান্তরিত হয় এবং জলের তাপমাত্রা বাড়াইয়া তোলে। স্থিতিশক্তির বাকী অংশ মাটিতে পড়িবার পূর্ব মুহূর্তে ভারদ্বয়ের গতিশক্তির সমান। একটি সুবেদী থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের প্রাথমিক ও চূড়ান্ত তাপমাত্রা মাপিয়া লওয়া হয়।



চিত্র 8.2

মনে করি, ভারদ্বয়ের প্রত্যেকের ভরের পরিমাণ $= M$ গ্র্যাম

যে উচ্চতা হইতে মাটিতে পড়ে তাহা $= x$ সে. মি.

মাটি স্পর্শ করিবার সময় ভারদ্বয়ের গতিবেগ $= v$ সে. মি./সেকেণ্ড

অভ্যন্তরস্থ সমস্ত বস্তুসহ ক্যালরিমিটারের জল সম $= W$ গ্র্যাম

ক্যালরিমিটারের জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি $= t°C$

তাহা হইলে, ভারদ্বয়ের প্রাথমিক অবস্থানে স্থিতিশক্তি $= 2Mgx$

মাটি স্পর্শ করিবার কালে উহাদের গতিশক্তি $= 2 \times \frac{1}{2}Mv^2 = Mv^2$

$\therefore$ ভারদ্বয়ের প্রতিবার পতনে $(2Mgx - Mv^2)$ পরিমাণ যান্ত্রিকশক্তি তাপশক্তিতে পরিণত হয়।

ভারদ্বয়কে মোট n বার এইরূপে ফেলিলে, $n(2Mgx - Mv^2)$ পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তি তাপে রূপান্তরিত হয়।

ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ $= W.t$ ক্যালরী

$\therefore$ অন্যভাবে তাপ ব্যয়িত না হইলে আমরা লিখিতে পারি :

$$J = \frac{\text{ব্যয়িত যান্ত্রিক শক্তি}}{\text{উদ্ভূত তাপ}} = \frac{n(2Mgx - Mv^2)}{Wt}$$

$$= \frac{Mn(2gx - v^2)}{Wt} \text{ আর্গ/ক্যালরী}$$

প্রয়োজনীয় সতর্কতা : (i) তাপমাত্রাবৃদ্ধি অত্যন্ত কম হইলে তাপমাত্রার পাঠে ভুল হওয়ার সম্ভাবনা বেশী। ঐ কারণে, তাপমাত্রা-বৃদ্ধি একটু বেশী হইলে ভাল হয়।

(ii) পরিবহন, পরিচলন ও বিকিরণজনিত তাপক্ষয়ের জন্য তাপমাত্রার যথাযথ সংশোধন দরকার।

(iii) ক্যালরিমিটার ব্যতীত যন্ত্রের অন্যান্য অংশে ঘর্ষণজনিত যে তাপ উদ্ভূত হয়, তাহারও সংশোধন করা উচিত।

(iv) V_2 পাতগুলির ঘূর্ণন বন্ধ হইবার পূর্বেই ভারদ্বয়কে যথাস্থানে স্থাপন করিয়া পরীক্ষাটি করা উচিত যাহাতে ঘূর্ণন অব্যাহত থাকে। জুলের একটি পরীক্ষায় মানগুলি ছিল এইরূপ :

$M = 30$ পাউণ্ড $\quad x = 5\frac{1}{3}$ ফুট

$n = 20 \quad W = 14$ পাউণ্ড

এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি $t = 0{\cdot}59°F$

$\therefore$ কৃতকার্য $= 2 \times 20 \times 30 \times 5\frac{1}{3} = 6400$ ফুট-পাউণ্ড

এবং উদ্ভূত তাপ $= 14 \times 0{\cdot}59 = 8{\cdot}26$ বৃ.থা.একক

$\therefore$ $J = 6400 \div 8{\cdot}26 = 774{\cdot}9$ ফুট-পাউণ্ড/বৃ.থা.একক

পরবর্তীকালে, বিজ্ঞানী রোল্যাণ্ড, লেভী এবং হারকান্স, ক্যালেণ্ডার এবং বার্নেস, প্রমুখ বিজ্ঞানীরা নানা ত্রুটিমুক্ত পরীক্ষায় J-র মান 778 ফুট-পাউণ্ড/বৃ.থা.একক বাহির করেন এবং ইহাই বর্তমানে J-র স্বীকৃত মান।

উদাহরণ : (1) নায়াগ্রা জলপ্রপাতের উচ্চতা 50 মিটার। জলের পতনজনিত কার্য তাপে রূপান্তরিত হইলে তাপমাত্রা বৃদ্ধি নির্ণয় কর।

$J = 4{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরী।

উত্তর : M গ্র্যাম ভরের জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি '$d\theta$' ধরিলে,

প্রয়োজনীয় তাপ $= M.d\theta$ ক্যালরী

উক্ত জলের পতনজনিত কার্য $= M \times g \times 50 \times 100$ আর্গ

$= M \times 981 \times 5 \times 10^3$ আর্গ

$$\therefore\quad Md\theta = \frac{M\times 981\times 5\times 10^3}{4{\cdot}2\times 10^7}$$

$$\text{বা,}\quad d\theta = \frac{981\times 5\times 10^3}{4{\cdot}2\times 10^7} = \mathbf{0{\cdot}12^\circ C}$$

(2) $47{\cdot}6^\circ C$ তাপমাত্রায় একটি সীসার বুলেট লক্ষ্যে আঘাত করিল। উৎপন্ন সমস্ত তাপ বুলেটটিকে ঠিক গলাইতে সক্ষম হইলে, উহার গতিবেগ বাহির কর। সীসার গলনাঙ্ক$=327^\circ C$, সীসার আপেক্ষিক তাপ$=0{\cdot}03$, এর গলনের লীনতাপ$=6$ ক্যালরী/গ্রাম এবং $J=4{\cdot}2\times 10^7$ আর্গ/ক্যালরী।

উত্তর ঃ মনে করি, বুলেটটির ভর M গ্রাম ও গতিবেগ V সে.মি./সেকেণ্ড

$\therefore$ উহার গতিশক্তি$=\frac{1}{2}MV^2$ আর্গ এবং ইহাই তাপে রূপান্তরিত হয়।

$\therefore$ উৎপন্ন তাপ$=\frac{1}{2}\dfrac{MV^2}{4{\cdot}2\times 10^7}$ ক্যালরী

বুলেটের $47{\cdot}6^\circ C$ হইতে গলনাঙ্কে তাপমাত্রাবৃদ্ধি এবং গলনের জন্য প্রয়োজনীয় তাপ

$$= M\times 0{\cdot}03\times(327-47{\cdot}6)+M\times 6 \text{ ক্যালরী}$$

$$= M(0{\cdot}03\times 279{\cdot}4+6) \text{ ক্যালরী}$$

$$\therefore\quad \frac{1}{2}\frac{MV^2}{4{\cdot}2\times 10^7} = M(0{\cdot}03\times 279{\cdot}4+6)$$

$$\text{বা}\quad V^2 = 8{\cdot}4\times 10^7(0{\cdot}03\times 279{\cdot}4+6)$$

$$\therefore\quad V = \mathbf{3{\cdot}475\times 10^4} \text{ সে.মি./সেকেণ্ড}$$

8.4. সমোষ্ণ ও রুদ্ধতাপ পরিবর্তন (Isothermal and adiabatic Changes) :

যে-পরিবর্তনে বস্তুর তাপমাত্রা স্থির রাখিয়া চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন ঘটানো হয়, তাহাকে সমোষ্ণ পরিবর্তন বলে। এইরূপ প্রক্রিয়াকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলা হয়।

সাধারণভাবে, কোন গ্যাসের চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন ঘটাইলে তাপমাত্রার পরিবর্তন ঘটে। গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির রাখিতে হইলে পরিপার্শ্বের সহিত বস্তুর তাপের আদান প্রদান ঘটাইয়া প্রয়োজনমত বস্তু হইতে তাপ নিষ্কাষণ অথবা বস্তুতে তাপ সরবরাহ করিতে হয়। উদাহরণ-স্বরূপ, কোন গ্যাসকে সহসা প্রসারিত করিলে প্রসারণের জন্য গ্যাস কিছু কার্য করে, ফলে তাহার অন্তর্নিহিত শক্তি হ্রাস পায় এবং গ্যাস শীতল হয়। এই পরিবর্তনকালে প্রয়োজনীয় তাপ বাহির হইতে গ্যাসকে সরবরাহ করিলে গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির রাখা যায়। বিপরীতপক্ষে, গ্যাসের উপর চাপ

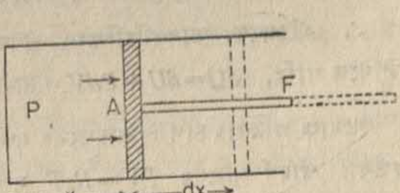
প্রদান করিলে আয়তন সংকুচিত হয়। উহার উপর কৃতকার্য তাপে পরিণত হয় এবং গ্যাসের তাপমাত্রা ইহাতে বৃদ্ধি পায়। এই পরিবর্তনকালে প্রয়োজনমত তাপ নিষ্কাষণ করিয়া তাপমাত্রা স্থির রাখা যাইতে পারে। **আদর্শ সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন খুব ধীরে ধীরে সংঘটিত করা দরকার। ইহাতে পরিবর্তনের প্রতিটি ক্ষুদ্র পর্বে বাহিরের সহিত আদান-প্রদানে তাপমাত্রা স্থির রাখা সম্ভব হয়। উপরন্তু, তাপের দ্রুত আদান-প্রদানের জন্য গ্যাসপাত্রটি তাপের সুপরিবাহী হওয়া বাঞ্ছনীয় এবং পরিপার্শ্বের তাপগ্রাহিতা যথেষ্ট হওয়া দরকার যাহাতে তাহারও তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন না ঘটে।** সুতরাং, সুপরিবাহী বস্তু-সান্নিধ্যে যে-কোন অতি মন্থর প্রক্রিয়াকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলা যাইতে পারে।

বাহিরের সহিত তাপের আদান-প্রদান সম্পূর্ণরূপে বন্ধ অবস্থায় বস্তুর চাপ ও আয়তনের পরিবর্তনকে রুদ্ধতাপ পরিবর্তন বলে। 'রুদ্ধতাপ' কথাটি হইতে পরিষ্কার বুঝা যাইতেছে, এই প্রক্রিয়ায় বাহির হইতে কোন তাপ বস্তুতে প্রবেশ করিতে পারে না বা বস্তু হইতে কোন তাপ বাহিরে যাইতে পারে না—বস্তুটি পরিপার্শ্বের সম্পর্কে তাপরুদ্ধ অবস্থায় থাকে।

কোন গ্যাসকে কুপরিবাহীপাত্রে রাখিয়া দ্রুত প্রসারণ বা সংনমন ঘটাইলে, গ্যাসের তাপমাত্রা যথাক্রমে হ্রাস বা বৃদ্ধি পায়। বাহিরের সহিত তাপের আদান-প্রদান করিয়া তাপমাত্রা স্থির রাখা এক্ষেত্রে সম্ভব হয় না। এই ধরনের দ্রুত প্রক্রিয়াকে রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া বলা যাইতে পারে। বাতাসে শব্দ তরঙ্গের ঘনীভবন, তনুভবন, পেট্রল ইঞ্জিনে পেট্রলবাষ্প ও বায়ুর দ্রুত সংনমন, ইত্যাদি রুদ্ধতাপ পরিবর্তনের উদাহরণ।

8.4a. গ্যাসের আয়তন পরিবর্তনে কৃতকার্য (Work done in changing the volume of a gas) **:**

মনে করি, ঘর্ষণবিহীন পিস্টনযুক্ত (F) একটি চোঙে এক গ্র্যাম-অণু পরিমাণ কোন আদর্শ গ্যাস লওয়া হইল (চিত্র 8.3)। পিস্টনের ক্ষেত্রফল A এবং গ্যাসের চাপ P হইলে পিস্টনের উপর প্রযুক্ত বল $P.A.$ পিস্টনটি খুব ক্ষুদ্র একটি দূরত্ব dx সরিয়া গেলে, যে ক্ষুদ্র পরিমাণ কাজ dw হইল, তাহা $P.A.dx$



চিত্র 8.3

অর্থাৎ $dw = P.A.dx$, ইহাতে আয়তনের ক্ষুদ্র পরিবর্তনকে dv বলিলে, $dv = Adx$.

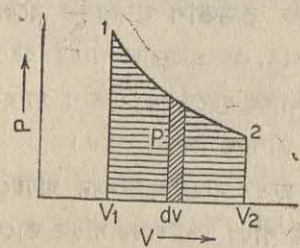
$$\therefore \quad dw = P.dv.$$

গ্যাসের প্রাথমিক আয়তন V_1 ও সম্প্রসারিত অবস্থায় আয়তন V_2 হইলে এবং চাপ (P) স্থির থাকিলে, যে পরিমাণ কার্য (W) সম্পাদিত হয়, তাহা, অর্থাৎ $W = P(V_2 - V_1)$

আবার, আয়তন পরিবর্তনের সঙ্গে চাপ হ্রাস পাইলে, কৃতকার্য,

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dv$$

চাপ ও আয়তনের লেখচিত্রে এই পরিবর্তনকে দেখান যাইতে পারে (চিত্র 8.4)। গ্যাসের প্রারম্ভিক অবস্থা 1 এবং চূড়ান্ত অবস্থা 2 দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে এবং উহাদের সংযোজক রেখাটি মধ্যবর্তী অবস্থাকে নির্দেশ করিতেছে। dV পরিমাণ ক্ষুদ্র আয়তন-সম্প্রসারণের ক্ষেত্রে চাপ (P)-কে স্থির বলিয়া ধরা যায়। সুতরাং উক্ত ক্ষেত্রে, গ্যাসের কৃতকার্য, Pdv= ঘন-দাগযুক্ত অংশের ক্ষেত্রফল। সমস্ত সম্প্রসারণকে এইরূপে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র সম্প্রসারণের সমষ্টি বলিয়া ধরিলে গ্যাসের 1 অবস্থা হইতে 2 অবস্থায় সম্প্রসারণের জন্য কৃতকার্য 1—2 রেখা এবং আয়তন-অক্ষের অন্তবর্তী ক্ষেত্রফলের (1-2-V_2-V_1) সমান। এইরূপ চিত্রকে **সূচক চিত্র** (Indicator diagram) বলে।



চিত্র 8.4

দেখা যাইতেছে, স্থির চাপের বিরুদ্ধে কোন গ্যাস তাপ শোষণ করিয়া প্রসারিত হইলে, প্রসারণজনিত বাহ্য কার্য, $dW = PdV$.

$\therefore$ এইক্ষেত্রে, তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রকে আমরা নিম্নলিখিতভাবে লিখিতে পারি, $dQ = dU + PdV$.

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক বয়েল সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। সুতরাং আদর্শ গ্যাসের $PV = R_0T$ সম্পর্কে T-র মান নির্দিষ্ট। কোন আদর্শ গ্যাসের আয়তন সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় V_1 হইতে V_2-তে পরিবর্তিত হইলে, গ্যাসকর্তৃক কৃতকার্য (W) আমরা নিম্নলিখিতভাবে বাহির করিতে পারি।

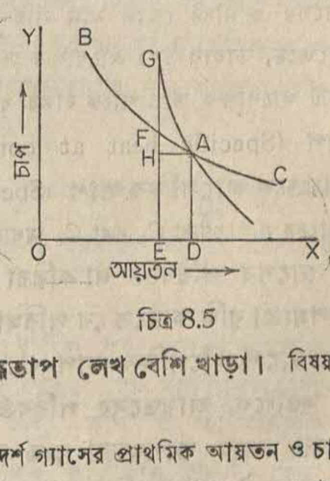
$$W=\int dw=\int_{V_1}^{V_2} PdV.$$

$$=\int_{V_1}^{V_2} \frac{R_0T}{V}dV \text{ [} PV=R_0T \text{ হইতে } P\text{-র মান বসাইয়া]}$$

$$=R_0T\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}=R_0T \log_e \frac{V_2}{V_1}$$

8.4b. সমোষ্ণ ও রুদ্ধতাপ লেখদ্বয়ের প্রকৃতি (Nature of isothermals and adiabatics) :

সমোষ্ণ এবং রুদ্ধতাপ—উভয় প্রক্রিয়াতেই কোন আদর্শ গ্যাসের চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন $P—V$ লেখচিত্রে প্রকাশ করা যায়। ইহাদের যথাক্রমে সমোষ্ণ ও রুদ্ধতাপ লেখ বলা হয়। চিত্রে (চিত্র 8·5) $BFAC$ কোন গ্যাসের একটি সমোষ্ণ লেখ ও GA একটি রুদ্ধতাপ লেখ। চিত্র হইতে পরিষ্কার বুঝা যাইতেছে, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের ক্ষেত্রে (A বিন্দুর দ্বারা সূচিত) **সমোষ্ণ লেখ অপেক্ষা রুদ্ধতাপ লেখ বেশি খাড়া।** বিষয়টি নিম্নলিখিতভাবে দেখান যাইতে পারে।



চিত্র 8.5

মনে করি, OD এবং DA কোন আদর্শ গ্যাসের প্রাথমিক আয়তন ও চাপ নির্দেশ করে। তাপমাত্রা স্থির রাখিয়া গ্যাসটির আয়তন OE-তে কমাইয়া আনিলে (AH পরিমাণ) চাপ হইবে EF—এইভাবে গ্যাসটির সমোষ্ণ পরিবর্তনের জন্য $BFAC$ লেখটি পাওয়া যাইবে। গ্যাসটির সংনমনের জন্য উদ্ভূত তাপ পরিপার্শ্বে পরিবাহিত হইয়াছে।

এখন যদি গ্যাসটির আয়তন OE-তে স্থির রাখা হয় এবং সমোষ্ণ সংনমনে যে পরিমাণ তাপ বর্জিত হইয়াছে সেই পরিমাণ তাপ গ্যাসটিকে দেওয়া যায় তবে গ্যাসটির চাপ বৃদ্ধি পাইবে এবং গ্যাসটির বর্তমান অবস্থা G বিন্দু দ্বারা সূচিত করা যাইবে। স্পষ্টতঃই, EF হইতে EG বড়। অর্থাৎ, G বিন্দুগামী GA রুদ্ধতাপ লেখ $BFAC$ সমোষ্ণ লেখ অপেক্ষা বেশি খাড়া।

8.5. গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ (Specific heats of gases) :

কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসে তাপ সরবরাহ করিলে তাপমাত্রার পরিবর্তন গ্যাসের চাপ ও আয়তনের পরিবর্তনের উপর নির্ভরশীল। চাপ স্থির রাখিলে কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের একক তাপমাত্রাবৃদ্ধির জন্য যে পরিমাণ তাপ লাগে তাহা স্থির আয়তনে একক তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ হইতে ভিন্ন। ইহার কারণ, স্থির চাপে গ্যাসের উপর প্রযুক্ত তাপ গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা ছাড়াও গ্যাসের সম্প্রসারণজনিত কার্যে সহায়তা করে। কিন্তু স্থির আয়তনের ক্ষেত্রে প্রযুক্ত তাপ কেবলমাত্র তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে। এই জন্য, নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের ক্ষেত্রে একই তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রদত্ত তাপ দুই ক্ষেত্রে সমান নহে বা একই পরিমাণ তাপ দিলেও ঐ দুই ক্ষেত্রে তাপমাত্রাবৃদ্ধি সমান হইবে না। দেখা যাইতেছে, গ্যাসের ক্ষেত্রে আপেক্ষিক তাপের সুনির্দিষ্ট কোন মান নাই—কোন্ অবস্থায় গ্যাসে তাপ প্রদান করা হইতেছে, তাহার উপর আপেক্ষিক তাপ নির্ভরশীল। এই কারণে, গ্যাসের দুইটি আপেক্ষিক তাপ আছে বলিয়া ধরা হয়—(i) **স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ** (Specific heat at constant pressure) এবং (ii) **স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপ** (Specific heat at constant volume)। উহাদের সাধারণতঃ C_p এবং C_v (যথাক্রমে) দ্বারা সূচিত করা হয়।

চাপের পরিবর্তন না করিয়া কোন গ্যাসের একক ভরের একক তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপ লাগে তাহাকে ঐ গ্যাসের স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ (C_p) বলে।

অন্যদিকে, **আয়তনের পরিবর্তন না করিয়া কোন গ্যাসের একক ভরের একক তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপ লাগে তাহাকে ঐ গ্যাসের স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপ (C_v) বলে।**

উপরি-উক্ত সংজ্ঞা অনুযায়ী, কোন একক ভরের গ্যাসের আয়তন স্থির রাখিয়া 'dT' পরিমাণ তাপমাত্রাবৃদ্ধি করিলে C_vdT পরিমাণ তাপ দেওয়া দরকার। আবার, চাপ স্থির রাখিলে একই তাপমাত্রাবৃদ্ধির জন্য C_pdT পরিমাণ তাপ লাগে। শেষোক্ত পরিমাণ তাপ (C_pdT), তাপমাত্রাবৃদ্ধি করা ছাড়াও গ্যাসের প্রসারণের (dV) জন্য কার্য (PdV) করে। এই কার্যের তুল্যাঙ্ক তাপ$=\dfrac{PdV}{J}$

সুতরাং, লিখিতে পারা যায়, $C_pdT=C_vdT+\dfrac{PdV}{J}$

এখন, $PV=R_0T$

$\therefore \quad PdV+VdP=R_0dT$

চাপ স্থির থাকায়, $dP=o.,\quad \therefore\quad PdV=R_0dT.$

$\therefore \quad C_pdT=C_vdT+\frac{PdV}{J}$ স্থলে লিখিতে পারি,

$$C_pdT=C_vdT+\frac{R_0dT}{J}$$

বা, $C_p-C_v=\frac{R_0}{J}=\frac{8{\cdot}314\times10^7 \text{ আর্গ/ডিগ্রী}}{4{\cdot}185\times10^7 \text{ আর্গ/ক্যালরী}}=1{\cdot}987$ ক্যা/ডিগ্রী

C_p এবং C_v-র মান কার্যের এককে প্রকাশ করিলে

$C_p-C_v=R_0$. [R_0 যেহেতু এক গ্রাম-অণু গ্যাসের ক্ষেত্রে সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক, যেহেতু C_p এবং C_v এক গ্রাম অণু গ্যাসের আপেক্ষিক তাপদ্বয় নির্দেশ করিতেছে। এক গ্রামের ক্ষেত্রে উহাদের মান পাইতে হইলে আণবিক ভার দ্বারা ভাগ করিতে হইবে।]

R_0 ধনাত্মক বলিয়া, $C_p>C_v$ এবং উহাদের অনুপাত $\frac{C_p}{C_v}=\gamma$, নির্দিষ্ট গ্যাসের ক্ষেত্রে ধ্রুবক। উদাহরণস্বরূপ, এক পরমাণুক গ্যাসের $\gamma=1{\cdot}66$, দ্বিপরমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে $\gamma=1{\cdot}40$.

[প্রকৃতপক্ষে, চাপ বা আয়তন স্থির না রাখিয়া কোন গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করিতে গেলে আপেক্ষিক তাপের যে কোন মান পাওয়া যাইতে পারে। একক ভরের পদার্থের ক্ষেত্রে প্রদত্ত তাপ ও তাপমাত্রাবৃদ্ধির অনুপাতকে আমরা ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলি ($S=\frac{H}{t}$ যেখানে $m=1$)। কোন একক ভরের গ্যাসকে কোন পিস্টনে রাখিয়া হঠাৎ সম্প্রসারিত করিলে (রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া), গ্যাসের তাপমাত্রা কমিয়া যায়। এখন, নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ (H) সরবরাহ করিয়া গ্যাসকে প্রাথমিক তাপমাত্রায় ফিরাইয়া আনিলে (তাপমাত্রাবৃদ্ধি $t=o$), আপেক্ষিক তাপের মান অসীম হইবে ($S=\frac{H}{O}=\infty$)। বিপরীতপক্ষে, পিস্টনের মধ্যে গ্যাসটিকে হঠাৎ সংনমিত করিলে কোন তাপ না দেওয়া সত্ত্বেও ($H=O$), তাপমাত্রাবৃদ্ধি (t) ঘটিত ; সুতরাং সেক্ষেত্রে আপেক্ষিক তাপ শূন্য ($S=\frac{O}{t}=O$) হইত। এই দুই চূড়ান্ত পর্যায়ের মধ্যবর্তী ভিন্ন ভিন্ন অবস্থায় আপেক্ষিক তাপ বিভিন্ন হইবে।]

প্রশ্নাবলী

1. তাপের প্রকৃতি সম্পর্কে বিভিন্ন মতবাদ বল। তাপ গতির একপ্রকার রূপ—ইহা বলিতে কি বুঝ ?

[State different theories on the nature of heat. What do you mean by the statement—Heat is a form of motion ?]

2. তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক বলিতে কি বুঝ ? বিভিন্ন এককে ইহার মান কত ? তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করিবার জুলের পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[What do you mean by mechanical equivalent of heat ? State its value in different units. Describe Joule's method to determine the mechanical equivalent of heat.]

3. উদাহরণসহ সমোষ্ণ ও রুদ্ধতাপ পরিবর্তন ব্যাখ্যা কর। সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় কোন আদর্শ গ্যাসের সম্প্রসারণজনিত কার্য পরিমাপ কর। সূচক-চিত্র কি ? উহার প্রয়োজনীয়তা বল। P—V লেখচিত্রে সমোষ্ণ ও রুদ্ধতাপ লেখদ্বয়ের প্রকৃতি কিরূপ ?

[Explain isothermal and adiabatic changes with examples. Determine the work done due to isothermal expansion of an ideal gas. What is an indicator diagram ? State its utility. What is the nature of the isothermals and adiabatics in a P—V diagram ?]

4. গ্যাসের দুইটি আপেক্ষিক তাপ কেন ? গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ-দ্বয়ের সংজ্ঞা লিখ এবং উহাদের পার্থক্য নিরূপণ কর।

[Why gases have two kinds of specific heats ? Define the specific heats of a gas and find out their difference.]

5. 100 মিটার/সেকেণ্ড বেগে ধাবমান একটি সীসার বুলেট একটি স্থির কুপরিবাহী বস্তুতে সজোরে ঢুকিয়া থামিয়া গেল। গতিশক্তির শতকরা 95 ভাগ তাপে রূপান্তরিত হইলে বুলেটের তাপমাত্রা বৃদ্ধি কত হইবে বাহির কর। সীসার আপেক্ষিক তাপ 0·03 এবং $J = 4{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরী।

[Taking specific heat of lead as 0·03, find the rise of temperature of a lead bullet if it remains embedded in a fixed badly couducting block. The initial velocity of the

bullet was 100 metres/sec. and 95% of its kinetic energy is converted into heat.] [Ans. 37·6°C]

6. 0°C তাপমাত্রায় 50 গ্র্যাম বরফকে 100°C তাপমাত্রাবিশিষ্ট জলে পরিণত করিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ সৃষ্টি করিতে কত কার্য করা দরকার? বরফের লীনতাপ=80 ক্যা/গ্র্যাম। [H. S. 1960]

[How much work must be done to supply the heat necessary to convert 50 gms. of ice at 0°C into water at 100°C? Latent heat of fusion of ice = 80 cal/gm.]

[Ans. $3·78 \times 10^4$ Joules]

7. 30% কর্মদক্ষতাসম্পন্ন একটি পেট্রল ইঞ্জিনে প্রতি ঘণ্টায় 1 পাউণ্ড পেট্রল 22,000 বৃ. থা. একক তাপ উৎপন্ন করিলে, ইঞ্জিনের অশ্ব-শক্তি কত? [1 বৃ. থা. একক=778 ফুট-পাউণ্ড]

[A petrol engine uses every hour 1 lb. of petrol, which produces 22,000 B. Th. U. of heat and has an efficiency of 30%; what is its H. P.? (1 B. Th. U. = 778 ft-lb)]

[Ans. 2·6 (nearly)]

8. কোন জলপ্রপাতের উপরের এবং তলদেশের জলের তাপমাত্রার পার্থক্য 0·19°C হইলে জলপ্রপাতের উচ্চতা বাহির কর।

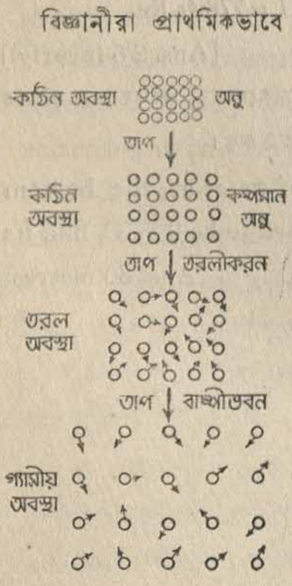
[The difference of temperature of water at the bottom and at the top of a waterfall is founed to be 0·19°C, find its height.] [Ans. 80 metres]

নবম অধ্যায়

গ্যাসের অণুগতিতত্ত্ব (Kinetic Theory of Gases)

9.1. সূচনা (Introduction) : বিজ্ঞানী অ্যাভোগাড্রো সর্বপ্রথম পদার্থের স্বাধীন অস্তিত্বসম্পন্ন ক্ষুদ্রতম কণা হিসাবে অণুর ধারণা দেন। এই ধারণা অনুযায়ী প্রতিটি বস্তুই অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অণুর সমষ্টি। পরবর্তীকালে, তাপ ও যান্ত্রিকশক্তির পারস্পরিক বিনিময়ের উপর পরীক্ষা নিরীক্ষা করিয়া রামফোর্ড, ডেভী, জুল প্রমুখ বিজ্ঞানীরা সিদ্ধান্ত করেন যে, তাপ পদার্থের গতির একটি রূপ। গ্যাসের ক্ষেত্রে উহার আণবিক গঠন এবং তাপমাত্রার উপর নির্ভর করিয়া অণুগুলির গতিশীলতা—এই দুইয়ের সমন্বয়ে একটি উল্লেখযোগ্য সূত্র গড়িয়া উঠিয়াছে। ইহাকে **গ্যাসের অনুগতিতত্ত্ব** বলে। এই তত্ত্ব কয়েকটি প্রাথমিক ধারণার ভিত্তিতে গড়িয়া উঠিলেও দেখা গিয়াছে, ইহা মোটামুটি অভ্রান্ত এবং ইহার সাহায্যে গ্যাসসূত্রাবলী ও গ্যাসের অন্যান্য আচার-আচরণ ব্যাখ্যা করা সম্ভব।

বিজ্ঞানীরা প্রাথমিকভাবে অনুমান করেন যে, গ্যাসীয় অণুগুলি সর্বদা অস্থির। সম্ভাব্য সকল গতিতে অণুগুলি এলোমেলোভাবে চতুর্দিকে বিচরণ করে। তাপমাত্রার উপর এই গতি নির্ভরশীল বলিয়া আমরা পদার্থের অবস্থান্তরকে অণুগতির ধারণা দ্বারা ব্যাখ্যা করিতে পারি।



চিত্র 9.1

কঠিন পদার্থে অণুগুলি খুব ঘনসন্নিবিষ্ট এবং সেইকারণে অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বল অনেক বেশি। ইহাতে অণুগুলি পরস্পর হইতে দূরে যাইতে পারে না। ফলে, কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট আকার ও আয়তন থাকে (চিত্র 9.1)। তাপপ্রয়োগে অণুগুলি স্পন্দিত হয় এবং কিছু গতির জন্য পারস্পরিক ব্যবধান বাড়িয়া যায়। ইহাতে সংসক্তি বল অপেক্ষাকৃত কমে এবং পদার্থের কোন নির্দিষ্ট আকার থাকে না। ইহাই পদার্থের তরল অবস্থা। আরও তাপপ্রয়োগে তরল পদার্থ বাষ্পীভূত হয়—ইহার অর্থ, অণুগুলির গতিশক্তি

এত বেশি বৃদ্ধি পায় যে, উহারা পরস্পর হইতে বেশ কিছু দূরে চলিয়া যাইতে পারে এবং সংসক্তি বল একেবারে থাকে না বলিলেই চলে। গ্যাসের কোন নির্দিষ্ট আকার বা আয়তন থাকে না, কারণ প্রতিটি অণু নিরপেক্ষভাবে বিচরণ করে।

সাধারণ গ্যাসসূত্রাবলীর তাত্ত্বিক প্রমাণ ছাড়াও অনুগতিতত্ত্বের সাহায্যে গ্যাসের সান্দ্রতা ও তাপ পরিবাহিতার ব্যাখ্যা সম্ভব হইয়াছে। এই তত্ত্ব অনুযায়ী, সান্দ্রতাঙ্ক ও পরিবাহিতাঙ্ক গ্যাসের চাপ-নিরপেক্ষ। পরীক্ষা দ্বারা ইহা প্রমাণিতও হইয়াছে। ক্লসিয়াস, ম্যাক্সওয়েল, বোলজ্‌ম্যান, ভ্যান-ডার-ওয়ালস্, জুল-টমসন প্রমুখ বিজ্ঞানীদের প্রচেষ্টায় গ্যাসের অপরাপর আচরণের ব্যাখ্যা ও বিভিন্ন রাশির মান (যেমন, আপেক্ষিক তাপ, অনুবেগ বণ্টন, আণবিক ব্যাস, অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা, ইত্যাদি) এই তত্ত্বের সাহায্যে নির্ভুলভাবে পাওয়া গিয়াছে। সুতরাং এই তত্ত্বকে সুপ্রতিষ্ঠিত বলা যাইতে পারে। অণুগতিত্বের মূল বিষয়গুলির আলোচনা করিবার পূর্বে অণুগতির স্বপক্ষে কয়েকটি প্রাকৃতিক ঘটনা এবং পরীক্ষামূলক প্রমাণের কথা বলা হইল।

9.2. পদার্থের আণবিক গঠন এবং অক্রম অণুগতির স্বপক্ষে কয়েকটি প্রমাণ (Some evidences in favour of molecular structure of matter and random molecular motion) :

পদার্থ যে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অসংখ্য অণুর সমষ্টি এবং এই অণুগুলি যে অনবরত অক্রম (random) গতিসম্পন্ন, কয়েকটি প্রাকৃতিক ঘটনার ব্যাখ্যায় তাহার অপ্রত্যক্ষ (indirect) প্রমাণ পাওয়া যায়।

(i) দ্রবণের মধ্যে দ্রাব সর্বত্র মিশিয়া যায়। এক গেলাস জলে এক চামচ চিনি দিলে জলের সর্বত্র চিনি আণবিক পর্যায়ে পরিব্যাপ্ত হয়। জলের অণুগুলির পাশাপাশি চিনির অণুগুলি অবস্থান করে।

(ii) দুইটি গ্যাসের পারস্পরিক ব্যাপনের (diffusion) ঘটনা গ্যাসের আণবিক গঠন এবং অণুগতির প্রমাণ দেয়। হাইড্রোজেন গ্যাসপূর্ণ একটি জার কার্বন-ডাই-অক্সাইড গ্যাসপূর্ণ অপর একটি জারের উপর উপুড় করিয়া ধরিলে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে হাল্কা হাইড্রোজেন গ্যাস নীচের কার্বন ডাই-অক্সাইড গ্যাস-জারে এবং ভারী কার্বনডাই-অক্সাইড গ্যাস উপরের হাইড্রোজেন গ্যাস-জারে গিয়া পরস্পরের সহিত মিশিয়া যায়। ইহাকে গ্যাসের ব্যাপন বলে। গ্যাসগুলি অণুর সমষ্টি এবং অণুগুলি গতিসম্পন্ন বলিয়াই এইরূপ ঘটিতে পারে। একই কারণে, জলের উপর এক ফোঁটা এ্যালকোহল

ফেলিলে অ্যালকোহল জলের সর্বত্র মিশিয়া যায়। এমনকি, দুইটি কঠিন পদার্থের মধ্যেও (যেমন, সোনা ও সীসা) ব্যাপন ঘটিতে পারে।

(iii) গ্যাস প্রসারণক্ষম। অণুগুলি গতিশীল বলিয়াই ইহা সম্ভব।

(iv) তরলের বাষ্পায়ন এবং বাষ্পের চাপ—পদার্থের অণুগুলির উত্তেজনা ও গতিশীলতা প্রমাণ করে।

বর্তমান শতাব্দীর প্রথমভাগ পর্যন্ত এই সমস্ত অপ্রত্যক্ষ প্রমাণ ও কতকগুলি ধারণার উপর নির্ভর করিয়া অণুগতিতত্ত্বের মূল বিষয়গুলি আলোচনা করা হইয়াছে। 1908 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী পেরা (Perrin) অপর এক বিজ্ঞানী রবার্ট ব্রাউন (Robert Brown)-এর এক আবিষ্কারের উপর আলোকপাত করেন। রবার্ট ব্রাউনের পরীক্ষায় গতিতত্ত্বের মূল ধারণার প্রথম প্রত্যক্ষ পরীক্ষামূলক প্রমাণ পাওয়া যায়।

(v) **ব্রাউনীয় গতি (Brownian motion) :** 1827 খ্রীস্টাব্দে ইংরেজ বিজ্ঞানী রবার্ট ব্রাউন জলে ভাসমান অসংখ্য অতি ক্ষুদ্র নিষ্প্রাণ উদ্ভিজ রেণুকে (spores) খুব শক্তিশালী অণুবীক্ষণ যন্ত্রে প্রত্যক্ষ করেন। তিনি লক্ষ্য করেন যে রেণুগুলি অবিরাম স্বতঃস্ফূর্তভাবে দ্রুত বিচরণ করিতেছে। রেণুগুলির এই বিচরণ সম্পূর্ণ এলোমেলো—জলের মধ্যে কখনও ইহারা উঠিতেছে, কখনও নামিতেছে, কখনও-বা প্রচণ্ড বেগে ঘুরপাক খাইতেছে। রেণুগুলির এই রহস্যজনক গতিই **ব্রাউনীয় গতি**। শক্তিশালী অণুবীক্ষণ যন্ত্রে কোন কলয়েড দ্রবণ বা গ্যাসমিশ্রণে (যেমন, বায়ু ও ধোঁয়ার মিশ্রণ) এই ধরনের গতি প্রত্যক্ষ করা যায়। ব্রাউনীয় গতি সম্পর্কে যে সমস্ত তথ্য জানা গিয়াছে, সেইগুলি নিম্নরূপ :

(a) ব্রাউনীয় কণাগুলির গতি সম্পূর্ণ অক্রম ও নিরবচ্ছিন্ন। কোন সময়েই এই গতি বন্ধ হয় না। তরলের একই জায়গায় এবং একই সময়ে দুইটি কণার গতি কখনও একরকম নয়। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, কণাগুলির গতি তরলের ঘূর্ণি বা ঐ জাতীয় কোন কারণে ঘটে না।

(b) তাপমাত্রা বৃদ্ধির সহিত কণাগুলির গতি বৃদ্ধি পায়।

(c) তরলের সান্দ্রতা যত কম হয়, গতি তত বৃদ্ধি পায়।

(d) পাত্রের কম্পন বা নাড়াচাড়ার উপর কণাদের গতি নির্ভরশীল নয়।

(e) কণাগুলি আকারে যত ক্ষুদ্র হয়, উহাদের গতি তত বৃদ্ধি পায়। একটি ব্রাউনীয় কণার ব্যাস গড়ে প্রায় 10^{-4} সে.মি. বা 1 মাইক্রন এবং সাধারণ তাপমাত্রায় গড় গতি প্রায় 0·65 সে.মি. প্রতি সেকেণ্ডে।

ব্রাউনীয়-গতির উৎস সন্ধান করিতে গিয়া বিজ্ঞানীরা পরীক্ষা করিয়া দেখিয়াছেন যে, এই গতি তরলের কোন রাসায়নিক বিক্রিয়া, বৈদ্যুতিক ক্রিয়া বা সান্দ্রতা, পৃষ্ঠটান, ইত্যাদি সাধারণ ধর্মের জন্য ঘটে না। **ব্রাউনীয় গতি সম্পূর্ণরূপে তরলের অণুগুলির নিরন্তর গতির ফলে ঘটিয়া থাকে।** তরলের অণুগুলি তাপীয় উত্তেজনায় সর্বদা ছোটাছুটি করে এবং তরলের মধ্যে বিলম্বিত (suspended) ব্রাউনীয় কণাগুলিকে আঘাত করে। কণার আকার বড় হইলে চতুর্দিক হইতে অণুগুলির সংঘাতের লব্ধি ফল শূন্য—অর্থাৎ এক্ষেত্রে কণাগুলি গতিসম্পন্ন হয় না। কিন্তু কণার আকার ছোট হইলে তরলের অণুগুলির আঘাত চতুর্দিকে সমান নয়, ফলে একটি অসম বল কণার উপর ক্রিয়া করিয়া ইহাকে গতিশীল করে। তরলের তাপমাত্রা বাড়িলে অণুগুলির তাপীয় উত্তেজনা বাড়ে, ইহাতে সংঘাতজনিত বল বেশি হয় এবং কণাগুলির গতিবেগ বৃদ্ধি পায়।

বায়ুমণ্ডলের নীচ হইতে উপর দিকে যত যাওয়া যায়, গ্যাসের ঘনত্ব তত কমে—অর্থাৎ নীচের স্তরে গ্যাস-অণুর সংখ্যা বেশি এবং যত উপরের দিকে উঠা যায়, প্রত্যেক স্তরে অণুর সংখ্যা তত কমিতে থাকে। ব্রাউনীয় কণাগুলিকে গ্যাস-অণুর প্রতিনিধিস্বরূপ মনে করিলে একটি তরলের মধ্যে প্রলম্বিত কণাগুলির সংখ্যা বিভিন্ন স্তরে অনুরূপভাবে বিভিন্ন হওয়া উচিত। পেরা ঐরূপ অনুমান করিয়া ব্রাউনীয় কণার ক্ষেত্রে সাধারণ সূত্রাবলী প্রয়োগ করেন এবং দেখেন যে বিভিন্ন তথ্যকে ইহার সাহায্যে ব্যাখ্যা করা সম্ভব। তিনি এই গতির পর্যালোচনা করিয়া অ্যাভোগাড্রো সংখ্যাও নির্ভুলভাবে বাহির করেন। দেখা যাইতেছে, ব্রাউনীয় গতি গ্যাসের অনুগতিতত্ত্বের প্রত্যক্ষ পরীক্ষামূলক প্রমাণ দেয়।

9.3. গতীয় তত্ত্বের প্রাথমিক অনুমানসমূহ (Basic assumptions in kinetic theory) :

গ্যাসের অণুগতিতত্ত্ব নিম্নলিখিত কতকগুলি প্রাথমিক অনুমানের উপর নির্ভর করিয়া প্রতিষ্ঠিত।

(i) যে-কোন গ্যাস অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অণুর সমষ্টি। একটি গ্যাসের অণুসমূহ একই রকমের। অর্থাৎ, ভিন্ন ভিন্ন গ্যাসের অণুগোষ্ঠী ভিন্ন ভিন্ন।

(ii) গ্যাসের অণুগুলি স্বতঃ বিচরণশীল এবং এই বিচরণ সম্পূর্ণ এলোমেলো।

(iii) পাত্রের মধ্যে বিচরণকালে অণুগুলি নিরন্তর পাত্রস্থ-দেওয়ালে ধাক্কা দেয় এবং নিজেদের মধ্যেও ধাক্কা খায়। ধাক্কাগুলি স্থিতিস্থাপক (elastic) এবং সদ্যোপাতী (instantaneous)।

(iv) অণুগুলি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বর্তুলাকার এবং ইহাদের মধ্যে কোন আকর্ষণ বা বিকর্ষণ-বল ক্রিয়া করে না। ফলে, গ্যাসের কোন স্থিতিশক্তি নাই, কেবলমাত্র গতিশক্তি আছে।

(v) সকল অণুই বিন্দুভর, এই কারণে গ্যাসের মোট আয়তনের তুলনায় অণুগুলির প্রকৃত আয়তনকে উপেক্ষা করা যায়।

(vi) পর পর ধাক্কাগুলির মধ্যে অণু যে গড় দূরত্ব অতিক্রম করে তাহাকে গড়মুক্ত পথ (mean free-path) বলে। মুক্ত পথ অতিক্রম করিবার জন্য যে সময় লাগে তাহার তুলনায় যে সময় ব্যাপিয়া একটি ধাক্কা সংঘটিত হয় তাহা অত্যন্ত নগণ্য বলিয়া ধরা যাইতে পারে। অর্থাৎ, ধাক্কাগুলি মুহূর্তের মধ্যে সংঘটিত হয়।

9.4. অণুগতিতত্ত্ব অনুযায়ী গ্যাসের চাপ (Pressure of a gas according to the kinetic theory) :

কোন পাত্রস্থ গ্যাসের প্রতি আয়তনে n সংখ্যক অণু থাকিলে এবং প্রতিটি অণুর ভর m হইলে, গতিতত্ত্ব অনুযায়ী, গ্যাস পাত্রস্থ-দেওয়ালে যে চাপ দেয় তাহার পরিমাণ

$$P=\frac{1}{3}\,mnC^2,$$ এখানে C=মূল গড় বর্গবেগ।

অণুগুলির **মূল গড় বর্গবেগ** (root mean square velocity) বলিতে অণুগুলির গড় বর্গবেগের বর্গমূল বুঝায়। উপরি-উক্ত গ্যাসে একক আয়তনে n অণুর মধ্যে যদি n_1 অণুর বেগ c_1, n_2 অণুর বেগ c_2, n_3 অণুর বেগ c_3, এইরূপ থাকে তবে গড় বর্গবেগ,

$$\overline{c^2}=\frac{n_1c_1^2+n_2c_2^2+n_3c_3^2+\ldots}{n_1+n_2+n_3+\ldots}$$

$$=\frac{\Sigma n_k c_k^2}{\Sigma n_k}=\frac{1}{n}\Sigma n_k c_k^2\ [\because\ \ n=n_1+n_2+n_3+\ldots]$$

এবং মূল গড় বর্গবেগ, $C=\sqrt{\overline{c^2}}$

এখন গ্যাসের ঘনত্ব ρ হইলে, $\rho=mn$ (একক আয়তনের গ্যাসের ভর)

$$\therefore\ \ P=\tfrac{1}{3}mnC^2=\tfrac{1}{3}\rho C^2$$

$$=\tfrac{2}{3}.\tfrac{1}{2}\rho C^2$$

$$=\tfrac{2}{3}.E$$

এখানে $E=\frac{1}{2}\rho C^2$=একক আয়তনে গড় রৈখিক গতিশক্তি।

∴ গ্যাসের চাপকে আমরা একক আয়তনে গ্যাসের গড় রৈখিক গতিশক্তির দুই-তৃতীয়াংশ মানের সমান বলিয়া ধরিতে পারি।

9.5. কতকগুলি গুরুত্বপূর্ণ সিদ্ধান্ত (Some important conclusions):

(a) **গতিতত্ত্বে তাপমাত্রার ব্যাখ্যা** (Kinetic interpretation of temperature) :

আমরা জানি, $P=\frac{1}{3}\rho C^2$

উভয়পক্ষকে এক গ্র্যাম-অণু আয়তন V দ্বারা গুণ করিলে,

$$PV=\frac{1}{3}\rho VC^2$$

$$=\frac{1}{3}MC^2, \text{ এখানে } M=\text{এক গ্র্যাম-অণু গ্যাসের ভর,}$$

আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে, $PV=R_0T$.

$$\therefore \quad \frac{1}{3}MC^2=R_0T.$$

$$\text{বা,} \quad C^2=\frac{3R_0T}{M}.$$

যেহেতু, M, R_0 ধ্রুবক, ∴ $C^2 \propto T$.

অর্থাৎ, গ্যাস-অণুর গড় বর্গবেগ তাপমাত্রার সহিত সমানুপাতিক। যেহেতু, গ্যাসের গতিশক্তি অণুগুলির বেগের উপর নির্ভরশীল, সুতরাং **গ্যাস অণুগুলির গড় গতিশক্তি উহার পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক**—ইহাই গতিতত্ত্ব অনুযায়ী তাপমাত্রার ব্যাখ্যা। গ্যাসের গতিশক্তি বাড়িলে উহার তাপমাত্রা উপরি-উক্ত সম্পর্ক অনুযায়ী বাড়ে। অন্যভাবে বলা যায়, গ্যাসের তাপমাত্রার হ্রাস-বৃদ্ধি দেখিয়া গ্যাসের গতিশক্তির হ্রাস-বৃদ্ধি পরিমাপ করা যায়।

(b) **বয়েল ও চার্লসের সূত্রের প্রমাণ :**

আমরা জানি, $P=\frac{1}{3}\rho C^2$

$$\therefore \quad PV=\frac{1}{3}\rho VC^2$$

$=\frac{1}{3}MC^2$, এখানে $M=V$ আয়তনের গ্যাসের ভর; তাপমাত্রা স্থির থাকিলে, C^2-র মান নির্দিষ্ট (∵ $C^2 \propto T$)

সুতরাং নির্দিষ্ট ভরের (M=ধ্রুবক) গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির থাকিলে

PV=ধ্রুবক এবং ইহাই বয়েলের সূত্র।

আবার, $PV=\frac{1}{3}MC^2$

এবং $C^2 \propto T$, $\therefore$ নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের ক্ষেত্রে

$\frac{1}{3}MC^2 \propto T$

বা, $\frac{1}{3}MC^2=RT$ [এখানে R=ভেদের ধ্রুবক]

$\therefore \ PV=RT$

V এক গ্র্যাম-অণু গ্যাসের আয়তন বুঝাইলে

$PV=R_0T$, R_0=সার্বজনীন গ্যাস-ধ্রুবক।

উপরি-উক্ত সম্পর্কে P স্থির থাকিলে

$V \propto T$, ইহাই চার্লসের সূত্র।

(c) **বোলজ্‌ম্যান ধ্রুবক (Boltzmann's Constant) :**

$PV=\frac{1}{3}mnVC^2$ [V=গ্র্যাম অণু গ্যাসের আয়তন

$=\frac{1}{3}mN_0C^2$ N_0=অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা]

$\therefore \ PV=R_0T=\frac{1}{3}mN_0C^2$

প্রতি অণুর গড় গতিশক্তি$=\frac{1}{2}mC^2$

$\therefore \ \frac{1}{2}mC^2=\frac{3}{2}R_0\frac{T}{N_0}$

$=\frac{3}{2}kT, \quad k=\frac{R_0}{N_0}$

k-কে বোলজ্‌ম্যান ধ্রুবক বলে।

$R_0=8{\cdot}31\times10^7$ আর্গ/গ্র্যাম-অণু/ডিগ্রী

$N_0=6{\cdot}02\times10^{23}$

$\therefore \ k=\frac{8{\cdot}31\times10^7}{6{\cdot}02\times10^{23}}=1{\cdot}38\times10^{-16}$ আর্গ/গ্র্যাম-অণু/ডিগ্রী

(d) **গ্যাস-অণুর মূল গড় বর্গবেগ :**

$P=\frac{1}{3}\rho C^2_{m}$

$\therefore \ C=\sqrt{\frac{3P}{\rho}}$

সুতরাং গ্যাসের চাপ ও ঘনত্ব জানা থাকিলে গ্যাস-অণুর মূল গড় বর্গবেগ বাহির করা সম্ভব।

উদাহরণস্বরূপ, হাইড্রোজেনের প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় ঘনত্ব='00009 গ্র্যাম/সি.সি. এবং প্রমাণ চাপ $P=76\times13{\cdot}6\times980$ ডাইন/সে. মি.^{2}।

$$\therefore \quad C_0 = \sqrt{\frac{3 \times 76 \times 13{\cdot}6 \times 980}{{\cdot}00009}} = 1{\cdot}85 \times 10^5 \text{ সে.মি./সেকেণ্ড}$$

C_0 জানা থাকিলে অন্য যে-কোন তাপমাত্রায় বেগ বাহির করা যায়। যেমন, 100°C-এ মূলগড় বর্গবেগকে C_{100} বলিলে,

$$\frac{C_0}{C_{100}} = \sqrt{\frac{T_0}{T_{100}}}$$

$$\therefore \quad C_{100} = C_0 \sqrt{\frac{T_{100}}{T_0}} = 1{\cdot}85 \times 10^5 \sqrt{\frac{373}{273}}$$

$$= 2{\cdot}16 \times 10^5 \text{ সে.মি./সেকেণ্ড}$$

ইহা ছাড়া, গতিতত্ত্বের সহায়তায় অ্যাভোগাড্রো-প্রকল্প, ডালটনের আংশিক চাপ-সূত্র ইত্যাদি প্রয়োজনীয় বিষয়গুলিকে প্রমাণ করা সম্ভব।

9.6. আদর্শ গ্যাস সূত্রাবলীর সীমাবদ্ধতা (Limitations of ideal gas laws) :

বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয়ে $PV = RT$ সমীকরণটি পাওয়া গিয়াছে। সকল মানের চাপ ও আয়তনের ক্ষেত্রে যে-কোন গ্যাস উপরি-উক্ত সম্পর্কটি মানিয়া চলিবে এইরূপ আশা করা যায়। সুতরাং, নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের P এবং V-এর মানগুলি লেখচিত্রে সন্নিবেশ করিলে যে সমোষ্ণ-লেখ পাওয়া যাইবে, গাণিতক নিয়মানুযায়ী তাহা একটি আয়তাকার পরাবৃত্ত হইবে। পরিবর্তে, যদি PV এবং P-র মানগুলি সন্নিবেশ করা হয় তবে একটি সরলরেখা পাওয়া যাইবে। বাস্তবক্ষেত্রে, কেবলমাত্র উচ্চ তাপমাত্রায় এবং খুব নিম্ন চাপে গ্যাসগুলি $PV = RT$ সূত্রটি মানিয়া চলে, অন্য অবস্থায় কোন গ্যাসই এই সম্পর্কটি হুবহু মানিয়া চলে না। বরং, বেশীর ভাগ ক্ষেত্রেই কোন বাস্তব গ্যাস (real gas) গ্যাসসূত্রাবলী যথাযথ মানে না। বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে $P-V$ এবং $PV-P$ লেখগুলি আদর্শ গ্যাসের লেখগুলি হইতে বিচ্যুত। বিভিন্ন বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে বিভিন্ন তাপমাত্রা ও চাপে লেখগুলির বিচ্যুতি দেখিয়া আদর্শ অবস্থা হইতে বাস্তব অবস্থার পার্থক্য বিচার করা যায়।

বিজ্ঞানী এন্ড্রুজ (Andrews) নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ও বিভিন্ন চাপে কার্বন-ডাই-অক্সাইড গ্যাসের আচরণ সম্পর্কে বিস্তারিত পরীক্ষা করেন এবং দেখেন যে উচ্চ তাপমাত্রায় ঐ গ্যাস মোটামুটি বয়েলের সূত্র মানিয়া চলে। কিন্তু নিম্ন তাপমাত্রায় এবং বিশেষ করিয়া সংকট তাপমাত্রায় ও ইহার নীচে বয়েলের সূত্র একেবারেই খাটে না। উপরন্তু, সংকট তাপমাত্রার নীচে গ্যাস নির্দিষ্ট

চাপে তরলে রূপান্তরিত হয়। $PV=RT$ সমীকরণটি গ্যাসের এই তরলীকরণ সম্পর্কে কোন তথ্য প্রদান করে না। সুতরাং, দেখা যাইতেছে, উক্ত সমীকরণের সাহায্যে গ্যাসের অবস্থার পরিবর্তন এবং সকল তাপ ও চাপের মানে গ্যাসের আচরণবিধি ব্যাখ্যা করা সম্ভব নহে।

বিভিন্ন গ্যাসের আচরণ সম্পর্কে বিস্তারিত এবং সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ পরীক্ষা করেন বিজ্ঞানী অ্যামাগাট (Amagat)। তিনি অত্যন্ত উচ্চ চাপ পর্যন্ত কার্বন ডাই-অক্সাইড, নাইট্রোজেন, হাইড্রোজেন ইত্যাদি সাধারণ গ্যাসগুলির সমোষ্ণ লেখ আঁকিয়া দেখান যে, গ্যাসগুলি বয়েলের সূত্র মানিতেছে না। কেবলমাত্র, প্রত্যেক গ্যাসের ক্ষেত্রে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বয়েলের সূত্র মোটামুটি খাটিতে দেখা যায়। একটি গ্যাসের ক্ষেত্রে ঐ নির্দিষ্ট তাপমাত্রাকে **বয়েল তাপমাত্রা** (Boyle temperature) বলে। বিভিন্ন গ্যাসের বয়েল তাপমাত্রা বিভিন্ন; যেমন, হাইড্রোজেনের $-167°C$, হিলিয়ামের $-254°C$, নাইট্রোজেনের $50°C$ এবং অক্সিজেনের $150°C$।

এন্ড্রুজ এবং অ্যামাগাট ব্যতীত ক্লসিয়াস, ক্যালিটেট প্রমুখ অনেক বিজ্ঞানী বাস্তব গ্যাসের আচরণবিধির উপর পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন। তাঁহাদের পরীক্ষালব্ধ সিদ্ধান্ত এই যে, আদর্শ গ্যাস সমীকরণ কেবলমাত্র একটি তাত্ত্বিক সম্পর্ক। বাস্তবক্ষেত্রে কোন গ্যাস ইহা পুরাপুরি মানিয়া চলে না। প্রত্যেক গ্যাসই উহার নিজস্ব সংকট তাপমাত্রার অনেক উপরে থাকিলে আদর্শ গ্যাস সূত্রাবলী প্রযোজ্য হইতে পারে। গ্যাসগুলি যতই সংকট তাপমাত্রার নিকটবর্তী হয়, ততই উহাদের আদর্শ অবস্থা হইতে বিচ্যুতি বৃদ্ধি পায়। উপরন্তু, আদর্শ গ্যাস সমীকরণ গ্যাসের তরলীকরণ সম্পর্কে কোন তথ্য প্রদান করে না।

এই সমস্ত সিদ্ধান্তের পরিপ্রেক্ষিতে 1879 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী ভ্যান-ডার ওয়ালস্ (Van-der waals) গ্যাসের অণুগতিতত্ত্বের কয়েকটি মূল অনুমান সংশোধন করিয়া বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে উপযোগী সমীকরণটি বাহির করেন। তাঁহার সংশোধিত অনুমানগুলি হইল: (i) গ্যাস-অণুগুলি বিন্দুভর নহে, নির্দিষ্ট জ্যামিতিক আয়তন-সম্পন্ন এবং (ii) অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ ক্রিয়াশীল। তিনি বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে যে সংশোধিত সমীকরণটি বাহির করেন তাহা নিম্নরূপ,

$\left(P+\frac{a}{V^2}\right)(V-b)=RT$ এখানে a এবং b নির্দিষ্ট গ্যাসের ক্ষেত্রে ধ্রুবরাশি। এই সমীকরণটি ভ্যান-ডার ওয়ালস্ সমীকরণ নামে খ্যাত।

প্রশ্নাবলী

1. গ্যাসের অণুগতিতত্ত্ব বলিতে কি বুঝ? অণুগতিতত্ত্বের স্বপক্ষে দুইটি প্রমাণ দাও। অনুগতিতত্ত্বের মূল অনুমানগুলি কি বল।

[What do you understand by Kinetic theory of gases? Give two evidences in support of this theory. State the basic assumptions in Kinetic theory.]

2. ব্রাউনীয় গতি কি? গতিতত্ত্বে ব্রাউনীয় গতির ভূমিকা ব্যাখ্যা কর।

[What is Brownian motion? Explain the role of Brownian motion in Kinetic theory.]

3. অণুগতিতত্ত্বানুযায়ী গ্যাসের চাপের মান কত গতিতত্ত্বে তাপমাত্রার ব্যাখ্যা কিরূপ? এই তত্ত্বের সাহায্যে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ বাহির কর।

[State the magnitude of pressure of a gas according to the Kinetic theory. What is Kinetic interpretation of temperature? Deduce the ideal gas equation from this theory.]

4. গতিতত্ত্বের সাহায্যে গ্যাস অণুর মূল গড় বর্গবেগ কিভাবে বাহির করা যায়? প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় বাতাসের ঘনত্ব 0·00129 গ্র্যাম/সি. সি. হইলে বাতাসের অণুগুলির মূল গড় বর্গবেগ বাহির কর।

[How the root mean square velocity of the gas molecules can be found out with the help of Kinetic theory?

Estimate the root mean square velocity of air molecules at N. T. P. given $\rho = 0{\cdot}00129$ gm/c. c, at N. T. P.]

[Ans. $4{\cdot}86 \times 10^4$ cms/sec.]

5. আদর্শ গ্যাস সূত্রাবলীর সীমাবদ্ধতা সংক্ষেপে আলোচনা কর।

[Discuss in brief, the limitations of the ideal gas laws.]

দশম অধ্যায়

তাপ-সঞ্চালন

(Transmission of Heat)

10.1. তাপ-সঞ্চালনের পদ্ধতি (Methods of transmission of Heat) :

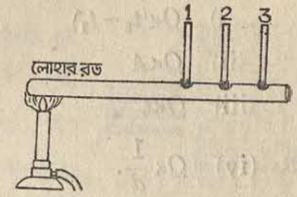
এক জায়গা হইতে অন্যত্র তাপ-প্রবাহকে তাপের সঞ্চালন বলে। এই সঞ্চালনের জন্য তাপমাত্রার পার্থক্য প্রয়োজন। তাপ উষ্ণতর বস্তু হইতে শীতলতর বস্তুতে সঞ্চালিত হয়।

তিনটি বিভিন্ন প্রণালীতে তাপ সঞ্চালিত হয়। যথা—পরিবহন, পরিচলন ও বিকিরণ।

10.1a. পরিবহন (Conduction) : যে-কোন একটি ধাতবদণ্ডের একপ্রান্ত আগুনের শিখায় ধরিলে অল্পক্ষণের মধ্যেই তাপ অন্যপ্রান্তে আসিয়া পৌঁছায়। অন্যপ্রান্ত হাতে ধরা থাকিলে, হাতে এই উষ্ণতা অনুভূত হয়। এখানে দণ্ডের যে প্রান্ত আগুনের সংস্পর্শে আছে, সে প্রান্তের কণাগুলি তাপ পাইয়া পরবর্তী কণান্তরে দেয়। ফলে পরবর্তী কণান্তর উষ্ণ হয় এবং ইহা আবার তাহার পার্শ্ববর্তী কণাগুলিকে তাপ প্রদান করে। এই প্রক্রিয়ায় অল্প-ক্ষণের মধ্যে তাপ অন্যপ্রান্তে পৌঁছিয়া যায়। এইভাবে পদার্থের কণাগুলি নিজেদের স্থান ত্যাগ না করিয়া শীতল অংশে তাপ সঞ্চালিত করে। এই প্রক্রিয়াকে তাপের পরিবহন বলে। সাধারণত কঠিন পদার্থে পরিবহন প্রণালীতে তাপ চলাচল করে। প্রকৃতপক্ষে, কঠিন পদার্থে তাপপ্রাপ্ত কণাগুলি প্রবলবেগে স্পন্দিত হয় এবং এই স্পন্দনের ফলে পার্শ্ববর্তী কণাদের সহিত সংঘাত ঘটে। সংঘাতের মধ্য দিয়া শক্তি হস্তান্তরিত হয়। সুতরাং, **যে প্রণালীতে কোন বস্তুর উষ্ণতর অংশ হইতে শীতলতর অংশে বা উষ্ণ বস্তু হইতে উহার সংশ্লিষ্ট শীতলতর অন্য বস্তুতে তাপ সঞ্চালিত হয় অথচ ইহার জন্য বস্তুর কণাগুলি স্থান পরিবর্তন করে না, তাহাই পরিবহন-প্রণালী।**

কয়েকটি সহজ পরীক্ষার মাধ্যমে পরিবহন-প্রণালীতে তাপ-সঞ্চালন দেখান যাইতে পারে।

(i) একটি লোহার দণ্ডের এক প্রান্তে কিছু দূরে দূরে তিনটি ছিদ্র করা আছে এবং এই ছিদ্রগুলির ভিতর তিনটি দেশলাই কাঠির বারুদের দিক প্রবেশ করান হইল (চিত্র 10.1)। দণ্ডের অন্যপ্রান্তে বুনসেন বার্নারের সাহায্যে তাপ দিলে কাঠিগুলিকে পরপর জ্বলিতে দেখা যাইবে। দণ্ডের ভিতর দিয়া তাপ পরিবাহিত হওয়ায় প্রথমে 1নং কাঠিটি জ্বলিবে। 3নং কাঠিকে সব শেষে জ্বলিতে দেখা যাইবে।



চিত্র 10.1

(ii) একটি বড় বরফখণ্ড লইয়া উহাকে তামার তার দিয়া জড়ান হইল। তারের একপ্রান্ত বাহিরে আনিয়া বার্নারের সাহায্যে উত্তপ্ত করিলে তার দিয়া তাপ বরফখণ্ডে পরিবাহিত হইবে। ইহাতে বরফ গলিতে শুরু করিবে। তারের ভিতর দিয়া তাপের এই সঞ্চালন পরিবহন পদ্ধতিতে হয়।

10.2. তাপ পরিবাহিতা (Thermal Conductivity) :

যে ধর্মের ফলে পদার্থ পরিবহন-প্রণালীতে তাপ সঞ্চালন করে, তাহাকে পদার্থের পরিবাহিতা বলে। সকল পদার্থের তাপ পরিবহন করিবার ক্ষমতা সমান নয়। একই আকার ও দৈর্ঘ্যের একটি লোহার দণ্ড ও একটি কাচের দণ্ড দুই হাতে লইয়া উহাদের অন্য প্রান্তগুলি একটি জ্বলন্ত উনানের মুখে ধরিলে দেখা যাইবে, লোহার দণ্ড অল্পক্ষণের মধ্যে এত বেশী উত্তপ্ত হইয়াছে যে, আর তাহা হাতে ধরিয়া রাখা যাইতেছে না। এক্ষেত্রে উনানের তাপ দণ্ড দুইটির ভিতর দিয়া পরিবাহিত হইয়া হাতে আসে। কিন্তু লোহার তাপ পরিবহনের ক্ষমতা কাচ অপেক্ষা অনেক বেশী হওয়ায় লোহার দণ্ড অধিক ও তাড়াতাড়ি উত্তপ্ত হয়। এইভাবে পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যে, সমস্ত পদার্থই তাপ পরিবহন করিতে পারে—কিন্তু সকল পদার্থের পরিবহন ক্ষমতা সমান নয়।

বিভিন্ন পদার্থের তাপ পরিবহনের ক্ষমতা বুঝাইবার জন্য 'পরিবাহিতাঙ্ক' কথাটি ব্যবহার করা হয়। নীচের আলোচনায় ইহার অর্থ জানা যাইবে। কোন পদার্থের একটি আয়তাকার ব্লক লইয়া উহার যে-কোন দুইটি নির্দিষ্ট বিপরীত পৃষ্ঠের তাপমাত্রা মাপা হইল এবং মনে করি এই তাপমাত্রাদ্বয় যেন $t_1°$ ও $t_2°$ এবং $t_2° > t_1°$. এইরূপ অবস্থায় $t_2°$ তাপমাত্রাসম্পন্ন পৃষ্ঠ হইতে তাপ লম্বভাবে $t_1°$ তাপমাত্রাসম্পন্ন পৃষ্ঠে পরিবাহিত হইবে। ঐ দুই পৃষ্ঠের পারস্পরিক দূরত্ব d এবং প্রত্যেক পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল A হইলে, একটি নির্দিষ্ট সময় t

ধরিয়া যে পরিমাণ তাপ Q পরিবাহিত হইবে, তাহার মান উক্ত রাশিগুলির উপর নিম্নলিখিতভাবে নির্ভরশীল :

(i) $Q \propto (t_2 - t_1)$

(ii) $Q \propto A$

(iii) $Q \propto t$

এবং (iv) $Q \propto \frac{1}{d}$.

অর্থাৎ, $Q \propto \frac{A(t_2 - t_1)}{d} t$.

অথবা, $Q = \frac{KA(t_2 - t_1)}{d} t$.

এখানে K ভেদের ধ্রুবক এবং ইহাকে উক্ত পদার্থের **পরিবাহিতাঙ্ক** (Co-efficient of thermal conductivity or thermal conductivity) বলে।

$A = 1$ একক, $(t_2 - t_1) = 1$ ডিগ্রী, $t = 1$ একক এবং $d = 1$ একক হইলে, $Q = K$

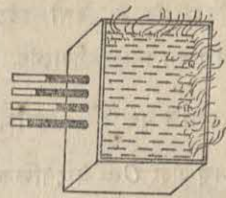
অর্থাৎ, একক ক্ষেত্রফল এবং একক বেধযুক্ত কোন পদার্থের দুই বিপরীত পৃষ্ঠের তাপমাত্রার পার্থক্য একক হইলে, উহার ভিতর দিয়া তলদ্বয়ের লম্বভাবে একক সময়ে যে পরিমাণ তাপ পরিবাহিত হয়, তাহাই ঐ পদার্থের পরিবাহিতাঙ্কের মান।

সি. জি. এস.-পদ্ধতিতে, K-এর একক ক্যালরি/সে.মি. $\times$ °C $\times$ সেকেণ্ড। লোহার পরিবাহিতাঙ্ক 0·2, ইহার অর্থ এক বর্গ সে.মি. ক্ষেত্রফল এবং এক সে.মি. বেধযুক্ত লৌহখণ্ডের দুই বিপরীত পৃষ্ঠের তাপমাত্রার পার্থক্য এক ডিগ্রী সেলসিয়াস (°C) হইলে, উহার ভিতর দিয়া পৃষ্ঠদ্বয়ের লম্বভাবে এক সেকেণ্ডে 0·2 ক্যালরি তাপ উষ্ণ পৃষ্ঠ হইতে শীতল পৃষ্ঠে পরিবাহিত হইবে।

পরিবাহিতার তুলনা (Comparison of conductivity) **:** সমস্ত পদার্থের তাপ পরিবাহিতা যে এক নয়, তাহা **ইনজেনহজের পরীক্ষার** (Ingenhausz's experiment) মাধ্যমে দেখান যাইতে পারে।

আয়তাকার একটি কাঠের বাক্স লইয়া উহার গায়ে কয়েকটি ছিদ্র করা হইল (চিত্র 10.2)। কয়েকটি বিভিন্ন ধাতুর (যথা—তামা, লোহা, পিতল ইত্যাদি) একই আকারের দণ্ড লইয়া ঐ ছিদ্রগুলির মধ্যে শক্তভাবে আটকাইয়া দেওয়া হইল। দণ্ডগুলিতে সমানভাবে মোম লাগাইয়া বাক্সের মধ্যে ফুটন্ত জল

ঢালিলে কিছুক্ষণ পরে দেখা যাইবে যে, দণ্ডগুলির পরিবাহিতা অনুসারে ছিদ্র হইতে বিভিন্ন দূরত্ব পর্যন্ত মোম গলিয়াছে। এখানে জলের তাপ দণ্ডগুলির মধ্য দিয়া পরিবাহিত হয় এবং যে পদার্থের পরিবাহিতা সবচেয়ে বেশী, তাহার মোম ছিদ্র হইতে সবচেয়ে বেশীদূর পর্যন্ত গলে। অপরপক্ষে, যাহার পরিবাহিতা সবচেয়ে কম, তাহার মোম কাছেই গলে। দণ্ডগুলির পরিবাহিতাঙ্ক K_1, K_2, K_3 ইত্যাদি হইলে এবং



চিত্র 10.2

মোম-গলনের দূরত্ব যথাক্রমে l_1, l_2, l_3 ইত্যাদি হইলে, প্রমাণ করা যায় যে,

$$\frac{K_1}{l_1^2}=\frac{K_2}{l_2^2}=\frac{K_3}{l_3^2}=\cdots \text{ইত্যাদি।}$$

এই পরীক্ষায় l_1, l_2 ইত্যাদি দূরত্বগুলি মাপিয়া পদার্থগুলির পরিবাহিতাঙ্কের তুলনা করা যায়। আবার, কোন একটি পদার্থের পরিবাহিতাঙ্ক জানা থাকিলে, অন্য পদার্থগুলির পরিবাহিতাঙ্ক বাহির করাও সম্ভব।

10.2ঐ. স্থিতপূর্ব অবস্থা ও তাপ-ব্যাপনতা (Variable state and thermometric conductivity) :

কোন ধাতবদণ্ডের একপ্রান্ত উত্তপ্ত করিলে পরিবহনের মাধ্যমে তাপ দণ্ডের বিভিন্ন অংশে পৌছায় এবং দণ্ডের প্রত্যেকটি স্তরের তাপমাত্রা বাড়িতে থাকে। কিছুক্ষণ পরে, প্রত্যেকটি স্তর তাহার একটি নিজস্ব সর্বোচ্চ তাপমাত্রায় পৌছায়। এই অবস্থাকে **স্থিতাবস্থা** (steady state) বলে। স্থিতাবস্থায় আসিবার পূর্বের অবস্থাকে **স্থিতপূর্ব অবস্থা** (variable state) বলে। দণ্ডটি স্থিতাবস্থায় পৌছিলে দণ্ডের দৈর্ঘ্যের লম্বাবরাবর প্রতিটি স্তরের ভিতর দিয়া যে-পরিমাণ তাপ পরিবাহিত হয়, তাহা দণ্ড হইতে বিকিরণজনিত তাপক্ষয় পূরণ করিবার কাজে ব্যবহৃত হয়। ফলে, প্রতিটি স্তরের নিজস্ব তাপমাত্রা স্থির থাকে। প্রতিটি স্তরের সর্বোচ্চ স্থির তাপমাত্রা কত হইবে তাহা পদার্থের পরিবাহিতাঙ্কের উপর নির্ভর করে। ইন্‌জেনহজের পরীক্ষাতে ইহা লক্ষ্য করা যায়।

কিন্তু স্থিতপূর্ব অবস্থায় কোন স্তরে পরিবাহিত তাপের কিয়দংশ বিকিরিত হয়, কিয়দংশ স্তরের তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে সাহায্য করে এবং বাকী অংশ পরবর্তী কণাস্তরে পরিবাহিত হয়। অর্থাৎ এই অবস্থায় শোষণ, বিকিরণ এবং পরিবহন একসঙ্গে চলে। এই মিলিত অবস্থাকে **তাপ-ব্যাপনতা** বলে। তাপ-

ব্যাপনতার হার কেবলমাত্র পদার্থের পরিবাহিতাঙ্কের উপর নির্ভরশীল নয়, ইহা বস্তুর তাপগ্রাহিতার উপরও নির্ভর করে। সুতরাং কোন পদার্থের পরিবাহিতাঙ্ক বেশী হইলেই যে তাপ-ব্যাপনতা বেশী হইবে, এমন নহে। তাপ-ব্যাপনতা পদার্থের পরিবাহিতাঙ্ক ও একক আয়তনে তাপগ্রাহিতার অনুপাত বুঝায়। অর্থাৎ, তাপ-ব্যাপনতা, $k=\frac{K}{\rho C}$, এখানে ρ=পদার্থের ঘনত্ব এবং C=আপেক্ষিক তাপ। লোহার পরিবাহিতাঙ্ক বিসমাথ অপেক্ষা বেশী, কিন্তু তাপ-ব্যাপনতা কম। ফলে, একই আকারের একটি লোহার দণ্ড এবং একটি বিসমাথের দণ্ড একই সঙ্গে উত্তপ্ত করিলে, লোহা অপেক্ষা বিসমাথ আগে স্থিতাবস্থায় পৌঁছিবে।

10.3. সুপরিবাহী ও কুপরিবাহী পদার্থ ও উহাদের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Good and bad conductors of heat and their practical applications) :

পরিবহনের ক্ষমতা বিচার করিয়া পদার্থসমূহকে সুপরিবাহী ও কুপরিবাহী এই দুই ভাগে ভাগ করা হয়। যে সমস্ত পদার্থ খুব সহজে ও বেশী মাত্রায় তাপ পরিবহন করিতে পারে, তাহাদের সুপরিবাহী এবং যাহাদের পরিবহন করিবার ক্ষমতা খুবই কম, তাহাদের কুপরিবাহী পদার্থ বলে। প্রায় সব ধাতুই সুপরিবাহী আর কাচ, কাগজ, রবার, জল, তুলা, অ্যাসবেস্টস্, ইত্যাদি পদার্থ কুপরিবাহী। হিসাব করিয়া দেখা গিয়াছে যে, লোহা কাচ অপেক্ষা প্রায় 80 গুণ বেশী তাপ পরিবহন করিতে পারে। যে সমস্ত পদার্থের মধ্য দিয়া তাপ একেবারেই পরিবাহিত হয় না, তাহাদের অপরিবাহী (insulator) বলে।

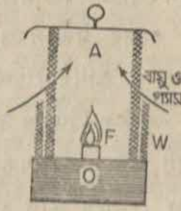
সুপরিবহনের দৃষ্টান্ত :

(i) একটি বুনসেন বার্ণারের সাহায্যে একটি তামার তারজালিকে উত্তপ্ত করিলে দেখা যাইবে তারজালি উত্তপ্ত হইয়া লাল হইয়া উঠিয়াছে, কিন্তু আগুনের শিখা জাল ভেদ করিয়া উপরে উঠিতে পারিতেছে না। ইহার কারণ, তামা তাপের সুপরিবাহী। তারজালি দ্রুত তাপ গ্রহণ করিয়া লয় বলিয়া জালের উপরে যে গ্যাস আছে তাহা দহনাঙ্কে পৌঁছাইতে পারে না।

আবার, তারজালিটি বার্নারের মুখ হইতে একটু উপরে ধরিয়া উপরের গ্যাস জ্বালান হইলে উপরের গ্যাস জ্বলিবে কিন্তু বার্নারের মুখ হইতে জাল পর্যন্ত

কোন শিখা দেখা যাইবে না। কারণ, এক্ষেত্রেও তামার সুপরিবাহিতার জন্য নীচের গ্যাস উষ্ণ হয় না, ফলে জ্বলিতে পারে না।

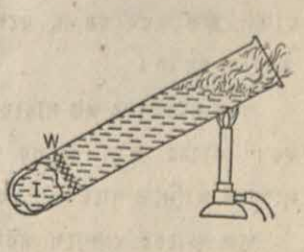
তামার তারজালির এই সুপরিবাহিতাকে কাজে লাগাইয়া **ডেভীর নিরাপত্তা বাতি** (Davy's safety lamp) উদ্ভাবিত হইয়াছে। অন্ধকার খনিগর্ভ আলোকিত করিবার উদ্দেশ্যে এই বাতি ব্যবহার করা হয়। খনির মধ্যে প্রচুর পরিমাণে বিস্ফোরক গ্যাস থাকে। বাতি জ্বালাইলে যাহাতে এই গ্যাসের বিস্ফোরণ না ঘটে এজন্য এই বাতির অগ্নিশিখা (F) একটি ঘন তারজালির (W) মধ্যে থাকে (চিত্র 10.3)। তারজালি ভেদ করিয়া বায়ু-মিশ্রিত গ্যাস অল্প অল্প করিয়া ভিতরে প্রবেশ করে এবং বাতিকে জ্বালাইয়া রাখে। কিন্তু তামা সুপরিবাহী বলিয়া অতি দ্রুত তাপ চতুর্দিকে সঞ্চালিত করে, ফলে জালির বাহিরের গ্যাস দহনাঙ্কে পৌছিতে পারে না। ফলে কোন বিস্ফোরণ ঘটে না। তৈলাধারে (0) এমন পরিমাণ তেল লওয়া হয় যাহাতে বাহিরের গ্যাস ধীরে ধীরে দহনাঙ্কে পৌছিবার পূর্বেই বাতিটি নিভিয়া যায়। বৈদ্যুতিক বাতি আবিষ্কারের পূর্বে ডেভীর নিরাপত্তা বাতিই খনিগর্ভে ব্যবহার করা হইত।



চিত্র 10.3

(2) একটি পাতলা কাগজের বাক্সে জল লইয়া তার-জালির উপর রাখা হইল। বার্নারের সাহায্যে উত্তপ্ত করিলে দেখা যাইবে কাগজে আগুন ধরে নাই, কিন্তু বাক্সের জল ফুটিতে শুরু করিয়াছে। ইহার কারণ, পাতলা কাগজের ভিতর দিয়া অতি দ্রুত তাপ জলে পৌছায় এবং ইহাকে ফুটিতে সাহায্য করে। এই তাপ কাগজের ভিতর দিয়া পরিবাহিত হয় বটে, কিন্তু কাগজ কোন সময়ই দহনাঙ্কে পৌছিতে পারে না। পাতলা কাগজের পরিবর্তে মোটা কাগজ লইলে কাগজের কুপরিবাহিতার জন্য তাপ দ্রুত যাইতে পারিবে না, ফলে কাগজ পুড়িয়া যাইবে।

কুপরিবহনের দৃষ্টান্ত : একটি টেস্টটিউবের মধ্যে একখণ্ড বরফ (I) রাখিয়া একটুকরা তার-জালি (W) দিয়া বরফটিকে নীচে আটকাইয়া দেওয়া হইল (চিত্র 10.4)। এবার টিউবের মধ্যে কিছু জল দেওয়া হইল। একটি



চিত্র 10.4

জলন্ত বার্নারের সাহায্যে টেস্টটিউবের উপরের অংশে তাপ প্রদান করিলে দেখা যাইবে উপরের জল ফুটিতে আরম্ভ করিয়াছে কিন্তু নীচের বরফ গলে নাই। জল তাপের কুপরিবাহী, এই কারণে জলের ভিতর দিয়া তাপ নীচে পরিবাহিত হয় নাই। উপরের অংশে তাপ দেওয়ার ফলে জলের মধ্যে পরিচলন স্রোতও ঘটে নাই। ফলে বরফ কোন তাপ না পাওয়ায় গলে নাই।

জলের মত সমস্ত তরল পদার্থই তাপের কুপরিবাহী। একমাত্র ব্যতিক্রম পারদ। সুপরিবাহিতার জন্য থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহার করা হয়।

পরিবাহিতার ব্যবহারিক প্রয়োগ ঃ ইহা সহজেই বলা যায়, যেখানে তাপ বেশী পরিমাণে চলাচল করানোর প্রয়োজন, সেখানে সুপরিবাহী পদার্থ এবং যেখানে তাপ চলাচলে বাধা দেওয়ার দরকার, সেখানে কুপরিবাহী পদার্থ ব্যবহার করা হয়। আমাদের রান্নার বাসনপত্র এই কারণে ধাতু দ্বারা নির্মাণ করা হয়। ইহাতে রান্না তাড়াতাড়ি হয়। শীতকালে আমরা উল ও তুলার পোষাক-পরিচ্ছদ ব্যবহার করি। তাহার কারণ, উল, তূলা ইত্যাদি তাপের কুপরিবাহী, বাহিরের সঙ্গে শরীরের তাপ চলাচলে ইহারা বাধার সৃষ্টি করে। শীতকালে আমাদের শরীরের তাপমাত্রা বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা অপেক্ষা বেশী থাকাতে শরীর হইতে তাপ বাহির হইতে চায়। কুপরিবাহী পোষাক এই তাপ চলাচল নিবারণ করে। উপরন্তু, পশম, তুলা ইত্যাদির ফাঁকে ফাঁকে বায়ু আটকাইয়া থাকে বলিয়া তাপ চলাচল আরও কমিয়া যায়, কারণ বায়ু তাপের কুপরিবাহী। শীতকালে একটি পুরু জামার পরিবর্তে দুইটি অর্ধেক পুরু জামা গায়ে দিলে বেশী আরাম লাগে। এক্ষেত্রে, দুইটি জামার মাঝে বায়ুস্তর আবদ্ধ থাকে।

কেটলীর হাতলে বেত জড়ান থাকে। বেত তাপের কুপরিবাহী। এই কারণে কেটলীতে গরম তরল পদার্থ রাখিলে কেটলী উত্তপ্ত হয়। বেতজড়ান হাতল তত গরম হয় না, ফলে হাতলের সাহায্যে কেটলী ধরিতে বিশেষ অসুবিধা হয় না।

বরফ সংরক্ষণের জন্য সাধারণতঃ কাঠের গুঁড়া দ্বারা বরফ ঢাকিয়া দেওয়া হয়। কাঠের গুঁড়া তাপের কুপরিবাহী বলিয়া বায়ুমণ্ডলের তাপ বরফের সংস্পর্শে আসিতে পারে না। ফলে বরফ গলিতে পারে না।

পুরু কাচের গেলাসে গরম জল ঢালিলে উহা ফাটিয়া যাওয়ার সম্ভাবনা থাকে, কিন্তু পাতলা গেলাসে ঢালিলে সেই সম্ভাবনা কম। ইহার কারণ, কাচ তাপের কুপরিবাহী। পুরু গেলাসে গরম জল ঢালিলে ভিতরের গাত্র

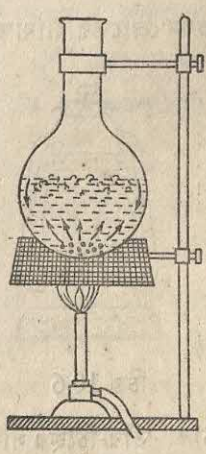
উত্তপ্ত এবং প্রসারিত হয় ; কিন্তু তাপ বাহিরের গাত্রে পরিবাহিত হইতে সময় নেয়। ফলে ভিতরের গাত্রের মত গেলাসের বাহিরের গাত্র সমভাবে প্রসারিত হয় না, ফলে উহা ফাটিয়া যায়। পাতলা গেলাসে পরিবহন অপেক্ষাকৃত তাড়াতাড়ি ঘটে, ফলে উভয় গাত্রে প্রসারণ মোটামুটি সমান তালে হয়।

লোহা তাপের সুপরিবাহী কিন্তু কাঠ কুপরিবাহী। এই কারণে, রৌদ্রে রাখা লোহা ও কাঠের দুইটি টুকরা একই সঙ্গে হাত দিয়া স্পর্শ করিলে কাঠ অপেক্ষা লোহার টুকরাটিকে বেশী গরম মনে হইবে। এক্ষেত্রে উহাদের তাপমাত্রা একই, তবুও এইরূপ হওয়ার কারণ, লোহা অতি দ্রুত তাপ হাতে পরিবাহিত করিয়া দেয়, কিন্তু কাঠের টুকরা তাহা পারে না। আবার শরীরের তাপমাত্রা অপেক্ষা উহাদের নিম্ন তাপমাত্রায় রাখিলে লোহার টুকরাটি অতি দ্রুত হাত হইতে তাপ শোষণ করিয়া লইবে, ফলে কাঠের টুকরা অপেক্ষা লোহাকে বেশী শীতল বলিয়া মনে হইবে। কাঠের কুপরিবাহিতার কারণে নিত্যব্যবহার্য জিনিসপত্র ও যন্ত্রাদির হাতল সাধারণত কাঠ দ্বারা নির্মাণ করা হয়।

খড়, বাঁশ ইত্যাদি কুপরিবাহী বলিয়া টিনের বা টালির ছাউনি অপেক্ষা খড়ের ছাউনিযুক্ত ঘর অনেক বেশী আরামদায়ক।

10.4. তাপের পরিচলন (Convection of heat) :

একটি কাচের ফ্লাস্কে কিছুটা জল লইয়া উহার মধ্যে একটি ছোট্ট ম্যাজেন্টার দানা আস্তে ফেলিয়া দেওয়া হইল (চিত্র 10.5)। তলার জল ইহার ফলে রঙীন হইয়া যাইবে, কিন্তু উপরের জল সাধারণ অবস্থায় থাকিবে। এইবার ফ্লাস্কটিকে একটি তারজালির উপরে বসাইয়া বুনসেন শিখার সাহায্যে উত্তপ্ত করিলে কিছুক্ষণ পরে দেখা যাইবে তলার রঙীন জলের স্রোত উপরের দিকে উঠিতেছে আর উপরের জলের স্রোত নীচের দিকে নামিতেছে। ইহার কারণ, তলার রঙীন জল তাপ পাইয়া হাল্কা হয় এবং তাহার ফলে উপরে উঠিয়া যায়। উপরের অপেক্ষাকৃত ভারী জল তখন নীচে নামিয়া আসে। এই প্রক্রিয়াটি কিছুক্ষণ চলার পর দেখা যায় ফ্লাস্কের সমস্ত জলই ফুটিতে আরম্ভ করিয়াছে। এখানে পদার্থের উষ্ণতর অংশের কণারা নিজেরাই



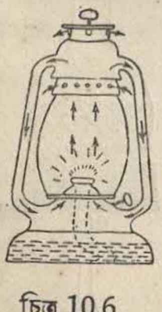
চিত্র 10.5

শীতলতর অংশে তাপ বহন করিয়া লইয়া যায়। এই প্রক্রিয়াকে তাপের পরিচলন বলে। কঠিন পদার্থে পরিচলন সম্ভব নয়। কেবলমাত্র তরল ও গ্যাসীয় পদার্থে ইহা সংঘটিত হয়।

সুতরাং, **যে প্রণালীতে পদার্থের মধ্যে উষ্ণ বস্তুকণারা নিজেরাই উষ্ণতর অংশ হইতে শীতলতর অংশে গমন করিয়া তাপের সঞ্চালন ঘটায় তাহাকে পরিচলন বলে।**

10.4a. পরিচলন স্রোত (Convection current) : পরিচলন-পদ্ধতিতে তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের কণারা উষ্ণতর জায়গা হইতে শীতলতর জায়গায় যায়। ফলে উষ্ণতর জায়গায় যে শূন্যতা সৃষ্টি হয়, শীতলতর জায়গায় অণুরা সেখানে আসিয়া তাহা পূরণ করে। তাহারা আবার তাপ পাইয়া চলিতে শুরু করে এবং এই চলাচল বা স্রোতকে বজায় রাখে। **তাপ সঞ্চালনের জন্য পদার্থের কণাগুলির চলাচল বা স্রোতকে পরিচলন স্রোত বলে।** পরিচলনের পরীক্ষাতে ফ্লাস্কের মধ্যে এই স্রোত লক্ষ্য করা যায়।

বায়ুতে পরিচলন স্রোত সৃষ্টি হয় বলিয়াই ঘরের মধ্যে বায়ু চলাচল করে। শ্বাস-প্রশ্বাসে ও অন্যান্য কারণে ঘরের বায়ু গরম হইয়া উপরে উঠিয়া যায়। ঘরের দেওয়ালের উপরে ঘুলঘুলি থাকিলে এই হাল্কা বায়ু উহার ভিতর দিয়া বাহিরে চলিয়া যায়। পরিবর্তে, অপেক্ষাকৃত ভারী ও শীতল বায়ু ঘরের দরজা-জানালা দিয়া ঘরের মধ্যে প্রবেশ করে। এই কারণে, ঘরে ঘুলঘুলি না থাকিলে পরিচলন স্রোতের ব্যাঘাত ঘটে, ফলে স্বাস্থ্যহানির আশঙ্কা থাকে।



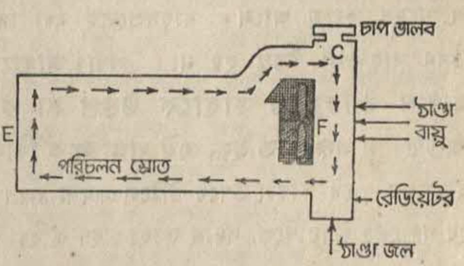
চিত্র 10.6

কলকারখানায় বড় বড় চিমনি ব্যবহার করা হয়। চিমনির ভিতর দিয়া কারখানার চুল্লির ধোঁয়া, গরম বাতাস, দহনজাত অদরকারী গ্যাসীয় পদার্থ বাহিরে চলিয়া যাইতে পারে।

একটি হ্যারিকেন লণ্ঠন লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে উহাতেও পরিচলন স্রোত যাহাতে ঘটিতে পারে তাহার ব্যবস্থা আছে (চিত্র 10.6)। তীর-চিহ্নের সাহায্যে হ্যারিকেন লণ্ঠনে বাহির হইতে শীতল বায়ু প্রবেশ করিবার এবং ভিতর হইতে উষ্ণ ও দূষিত বায়ু বাহির হইবার পথ দেখান হইয়াছে। বহিরাগত বাতাস কেরোসিন শিখাকে প্রয়োজনীয়

অক্সিজেন গ্যাস সরবরাহ করে এবং উহা জ্বলিতে থাকে। পরিচলন স্রোতের ব্যবস্থা না থাকিলে শিখা নিভিয়া যাইত।

পেট্রল বাষ্পের দহনে মোটর গাড়ীর ইঞ্জিন প্রচণ্ড উত্তপ্ত হইয়া উঠে। এই এই কারণে ইঞ্জিনে জলের পরিচলন স্রোতের সাহায্যে শীতলীকরণের ব্যবস্থা রাখা থাকে। 10.7 চিত্রে ইঞ্জিনে জলের পরিচলন স্রোত দেখান হইয়াছে। ইঞ্জিনের সিলিণ্ডারগুলিকে বেষ্টন করিয়া একটি জলাধার থাকে। E অংশে দহনজনিত উত্তাপে জল গরম হইয়া চলিতে শুরু করে। C অংশে আসিয়া ঠাণ্ডা জল ও বাতাসের সংস্পর্শে এই উত্তপ্ত জল ঠাণ্ডা হইয়া ভারী হয় এবং নীচে নামে। এই অংশটিকে রেডিয়েটর বা



চিত্র 10.7

বিকিরক বলা হয়। বিকিরকের মধ্যে কতকগুলি ধাতব পাখনা (F)-যুক্ত থাকে, ইহারা বাতাসের পরিচলনস্রোত উৎপন্ন করিয়া দ্রুত তাপ-ত্যাগের সুবিধা করিয়া দেয়।

পৃথিবীতে বায়ুপ্রবাহের কারণ বায়ুর পরিচলন স্রোত। পৃথিবী-পৃষ্ঠের নানা অঞ্চল বিভিন্ন কারণে বিভিন্ন উষ্ণতায় থাকে। এই উষ্ণতার পার্থক্যের জন্য বায়ুচাপ ও বায়ুতে জলীয় বাষ্পের চাপ কম-বেশী হয়। বেশী চাপের অঞ্চল হইতে কম চাপের অঞ্চলে বায়ু প্রবাহিত হয়। মৌসুমী বায়ু, আয়ন বায়ুপ্রবাহ ইত্যাদি বায়ুর পরিচলনের জন্য ঘটিয়া থাকে।

সমুদ্রসংলগ্ন স্থানে বায়ুর পরিচলনের জন্য সমুদ্রবায়ু ও স্থলবায়ু সৃষ্টি হয়। দিনের বেলা স্থলভূমি অপেক্ষাকৃত বেশী উষ্ণ হয় এবং স্থলের বায়ু উষ্ণ হইয়া উপরে উঠিয়া যায়। সমুদ্রজল সংলগ্ন শীতল বায়ু তখন এই শূন্যস্থান পূরণ করিবার জন্য স্থলভাগের দিকে প্রবাহিত হয়। কিন্তু রাত্রিবেলা স্থল তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হইয়া পড়ে, ফলে সেখানকার বাতাসও ঠাণ্ডা হয়। জলের উচ্চ আপেক্ষিক তাপের জন্য জল সারাদিনের পাওয়া তাপকে অনেকক্ষণ ধরিয়া রাখিতে পারে। ফলে সমুদ্রজল রাতেও উষ্ণ থাকে। ফলে সমুদ্রের উপরকার বায়ু উষ্ণ হইয়া উপরে উঠিয়া যায় এবং স্থলভাগের ঠাণ্ডা বায়ু সেখানে প্রবাহিত হয়। দিনের

বেলা সমুদ্রের শীতলবায়ু প্রবাহকে সমুদ্রবায়ু ও রাতের বেলায় স্থলভাগের শীতল বায়ু প্রবাহকে স্থলবায়ু বলে।

10.5. বিকিরণ ও বিকীর্ণ তাপের প্রকৃতি (Radiation and nature of radiant heat) ঃ

সূর্য, জ্বলন্ত উনান ইত্যাদি বস্তু হইতে আমরা পরিবহন বা পরিচলন পদ্ধতিতে তাপ পাই না। তোমরা জান, পৃথিবী ও সূর্যের মাঝখানে এক বিরাট শূন্য রহিয়াছে। সুতরাং সূর্য হইতে তাপ কোন মাধ্যম ব্যতিরেকেই আমাদের কাছে আসে। বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়াও যখন তাপ চলাচল করে তখন বায়ুমণ্ডল উত্তপ্ত হয় না। অর্থাৎ **মাধ্যমের সাহায্য না লইয়া বা মাধ্যম থাকিলেও তাহাকে উত্তপ্ত না করিয়া তাপ উৎস হইতে অন্যস্থানে সঞ্চালিত হয়, এই পদ্ধতিকে বিকিরণ বলে।** এই কারণে বায়ুমণ্ডল ভেদ করিয়া উপরে উঠিলে ক্রমশঃ ঠাণ্ডা অনুভূত হয়। বিকীর্ণ তাপ যে পদার্থের উপর পড়ে, পদার্থ তাহা গ্রহণ করিয়া উষ্ণ হইতে থাকে। বিভিন্ন পদার্থের এই তাপ গ্রহণ করিবার ক্ষমতা বিভিন্ন। কেবলমাত্র উনান বা সূর্য তাপ বিকিরণ করে তাহা নহে, যে-কোন উত্তপ্ত বস্তুই তাপ বিকিরণ করিয়া শীতল হয়। বিজ্ঞানী প্রিভোস্টের (Prevost) নীতি অনুযায়ী, যে-কোন বস্তু, তাহার তাপমাত্রা যাহাই হউক না কেন, তাপ বিকিরণ করিতে সক্ষম।

বিকীর্ণ তাপের প্রকৃতি অনুসন্ধান করিতে গিয়া বিজ্ঞানীরা দেখিয়াছেন যে, এই তাপ আলোকের সমধর্মসম্পন্ন। অর্থাৎ, আলোকের মতই ইহা শূন্যস্থানের ভিতর দিয়া তরঙ্গের আকারে প্রতি সেকেণ্ডে 3×10^{10} সে.মি. বা 1 লক্ষ 86 হাজার মাইল চলাচল করে। আলোকের মতই ইহা সরলরেখায় চলে এবং প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত হয়। প্রকৃতপক্ষে, ইথার মাধ্যমে যে শক্তি চলাচল করে, তাহাদের সকলের ধর্ম একই। এই তরঙ্গগোষ্ঠীকে সাধারণভাবে **তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ** (electro-magnetic waves) বলে। একজাতীয় তরঙ্গের সঙ্গে অন্যজাতীয় তরঙ্গের পার্থক্য কেবলমাত্র উহাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বা কম্পাঙ্কের পার্থক্যের জন্য। দীর্ঘতম তরঙ্গগুলিকে বেতার-তরঙ্গ (radio-waves) বলে এবং ইহাদের সাহায্যে বেতারে আদান-প্রদান করা হয়। এই তরঙ্গের দৈর্ঘ্য কয়েক মিটার হইতে কয়েক সহস্র মিটার পর্যন্ত হইতে পারে। ইহা অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর তরঙ্গ (কয়েক সে.মি. দৈর্ঘ্যসম্পন্ন) র‍্যাডারে ব্যবহৃত হয়। **10^{-2} সে.মি. হইতে 8×10^{-5} সে.মি. দৈর্ঘ্যসম্পন্ন তরঙ্গ তাপানুভূতির সৃষ্টি করে।** ইহাকে তখন বিকীর্ণ তাপ বলা হয়। ইহা অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর ইথার

তরঙ্গ (তরঙ্গদৈর্ঘ্য $3\cdot8\times10^{-5}$ সে.মি. ও 7×10^{-5} সে.মি.-র মধ্যবর্তী) আমাদের কাছে দৃশ্যমান আলোক। এক্স-রে, গামা-রে ইত্যাদিও তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গগোষ্ঠীর অন্তর্ভুক্ত। তবে ইহাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আরও অনেক কম। দেখা যাইতেছে, বিকীর্ণ তাপ সমগ্র বিকিরণ বর্ণালীর একটি ছোট্ট অংশবিশেষ।

সমস্ত পদার্থের তাপ বিকিরণ বা বিকীর্ণতাপ গ্রহণ করিবার ক্ষমতা এক নয় —একথা আগেই বলা হইয়াছে। কোন বস্তু হইতে বিকীর্ণ তাপ বস্তুর (i) প্রকৃতি, (ii) পারিপার্শ্বিকের সহিত তাপমাত্রার পার্থক্য এবং (iii) আকারের উপর নির্ভরশীল। আবার বিকীর্ণ তাপ যখন বস্তুর উপর পড়ে তখন ইহার কিছু অংশ বস্তুকর্তৃক শোষিত হয়, কিছু প্রতিফলিত হয় এবং বাকী অংশ বস্তু ভেদ করিয়া নির্গত হয়। যে-সকল বস্তুর ভিতর দিয়া সহজে তাপতরঙ্গ চলাচল করিতে পারে তাহাদিগকে তাপ-সম্পর্কে স্বচ্ছ বস্তু বা **তাপ-স্বচ্ছ** (diathermanous) বস্তু বলে। অন্যদিকে, যে-সকল বস্তু তাপতরঙ্গের চলাচলে বাধা দেয়, তাহারা তাপ-সম্পর্কে অস্বচ্ছ বস্তু বা **তাপরোধী** (athermanous) বস্তু। এক এক রকমের বস্তু এক এক রকমের তাপতরঙ্গকে নিজের ভিতর দিয়া চলাচল করিতে দেয়—অন্য দৈর্ঘ্যের তাপতরঙ্গকে দেয় না। সুতরাং তাপ-সম্পর্কে বস্তুর স্বচ্ছতা বা অস্বচ্ছতা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল।

প্রত্যেক বস্তুই কিছু-না-কিছু পরিমাণ তাপ শোষণ করে। তবে **আদর্শ কৃষ্ণবস্তু** (perfectly black body) বলিয়া এমন এক বস্তুর কল্পনা করা হয়, যাহার শোষণ ক্ষমতা শতকরা একশত ভাগ। এই বস্তুর উপর বিকীর্ণতাপ পড়িলে কোন অংশই প্রতিফলিত বা সংবাহিত হইবে না। ভূষাকালিকে (lamp black) আদর্শ কৃষ্ণবস্তুর কাছাকাছি বলিয়া ধরা হয়। ইহার ক্ষেত্রে আপতিত বিকীর্ণতাপের প্রায় শতকরা 98 ভাগ শোষিত হইয়া থাকে।

10.6. তাপ-বিকিরণ সম্পর্কিত কয়েকটি উদাহরণ (Some instances of heat radiation) :

কালো রঙের বস্তু তাপ শোষণ করে সবচেয়ে বেশী আবার অন্যদিকে তাপ বিকিরণ করেও সবচেয়ে বেশী। বস্তু অমসৃণ হইলে তাহার তাপ শোষণ করার ক্ষমতা বাড়িয়া যায়। পক্ষান্তরে, চকচকে বা পালিশ করা বস্তুর বিকিরণ ক্ষমতা কম। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, যে বস্তুর তাপ শোষণ করিবার ক্ষমতা যত বেশী, তাহার বিকিরণের ক্ষমতাও তত বেশী।

কালো বস্তু তাপ বেশী শোষণ করে বলিয়া রান্নার হাঁড়ির তলা অনেক সময় কালো করা হয় যাহাতে তাড়াতাড়ি রান্না হয়। কালো ছাতা বা

শীতকালে কালো পোশাক বিকিরণ ও শোষণের সুবিধার জন্য ব্যবহার করা হয়। কালো জামা সহজে তাপ শোষণ করিয়া শরীরকে গরম রাখে।

শুকনো বাতাস ভিজা বাতাস অপেক্ষা কম তাপ শোষণ করিতে পারে। শীতকালে আকাশ পরিষ্কার থাকিলে বায়ু শুষ্ক থাকে, ফলে বায়ু কম তাপ শোষণ করে। এইজন্য সেদিন শীতের প্রকোপ বেশী দেখা যায়।

পারিপার্শ্বিকের সহিত বস্তুর তাপমাত্রা যত বেশী থাকে, বিকিরণের হার তত বেশী হয়। কাপের গরম চা প্রথমাবস্থায় যে হারে ঠাণ্ডা হয়, কিছুক্ষণ পরে সেই হার কমিয়া যায়। কারণ তখন পারিপার্শ্বিকের সহিত তাহার তাপমাত্রার পার্থক্য কমিয়া যায়।

10.7. স্টীফান সূত্র (Stefan's law) :

বিভিন্ন পরীক্ষালব্ধ মান হিসাব-নিকাশ করিয়া 1879 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী স্টীফান সিদ্ধান্ত করেন যে, কোন কৃষ্ণবস্তু হইতে নিঃসৃত (emitted) বিকিরণের সহিত বস্তুর পরম তাপমাত্রার একটি সুনির্দিষ্ট সম্পর্ক রহিয়াছে। তিনি ইহাকে একটি সূত্রের আকারে উপস্থাপিত করেন। ইহা স্টীফানের সূত্র নামে পরিচিত। সূত্রটি নিম্নরূপ :

প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রতি একক সময়ে কোন আদর্শ কৃষ্ণবস্তু হইতে বিকীর্ণতাপ ঐ বস্তুর পরম তাপমাত্রার চতুর্থ ঘাতের সমানুপাতিক।

$T°$ পরম তাপমাত্রায় কৃষ্ণবস্তু হইতে নিঃসৃত বিকিরণ যদি E হয়, তবে স্টীফানের সূত্রানুযায়ী $E \propto T^4$ অথবা, $E = \sigma T^4$

এখানে σ একটি ধ্রুবক এবং ইহাকে **স্টীফানের ধ্রুবক** (Stefan's const.) বলে। ইহার স্বীকৃত মান, $5{\cdot}669 \times 10^{-5}$ আর্গ সে. মি. $^{-2}$ সেকেণ্ড $^{-1}$ $(°K)^{-4}$

পারিপার্শ্বিকের সহিত তাপ বিনিময় গ্রাহ্য করিয়া বোলজ্‌ম্যান স্টীফানের সূত্রটিকে পরিবর্ধিত আকারে প্রকাশ করেন।

$T°$ পরম তাপমাত্রার কোন আদর্শ কৃষ্ণবস্তু $T_0°$ পরম তাপমাত্রার ($T° > T_0°$) পারিপার্শ্বিকের সহিত তাপ বিনিময় করিলে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রতি একক সময়ে কৃষ্ণবস্তু যে পরিমাণ তাপ হারাইবে তাহা E হইলে, $E = \sigma(T^4 - T_0^4)$। এই সূত্র স্টীফান-বোলজ্‌ম্যান সূত্র নামে পরিচিত।

10.7a. স্টীফান সূত্রের প্রয়োগ (Applications of Stefan's law) :

(1) খুব উচ্চ তাপমাত্রা নির্ণয়ের জন্য আলোকীয় পাইরোমিটার বা বিকিরণ পাইরোমিটার (radiation pyrometer) ব্যবহার করা হয়। এই যন্ত্রের মূলনীতি স্টীফানের সূত্রের উপর প্রতিষ্ঠিত। কোন প্রমাণ বাতির উজ্জ্বলতার সহিত পরীক্ষাধীন বস্তুর উজ্জ্বলতা তুলনা করিয়া বস্তুর তাপমাত্রা হিসাব করা হয়। এই যন্ত্রের সাহায্যে দূরস্থিত অতি উত্তপ্ত বস্তু, যেমন সূর্যপৃষ্ঠ, ইত্যাদির তাপমাত্রা নির্ণয় করা সম্ভব।

(2) নিউটনের শীতলীকরণ সূত্র স্টীফানের সূত্রের আর একটি বিশেষ প্রয়োগ। শীতলীকরণ সূত্র অনুযায়ী কোন বস্তুর শীতলতার হার ঐ বস্তু ও পরিপার্শ্বের তাপমাত্রার পার্থক্যের সমানুপাতিক।

স্টীফান সূত্রানুযায়ী, $E=\sigma(T^4-T_0^4)$

$$=\sigma(T-T)(T_3^3+T^2T_0+TT_0^2+T_0^3)$$

বস্তুর ও পরিপার্শ্বের তাপমাত্রার পার্থক্য খুব কম হইলে $T\simeq T_0$ লিখিতে পারা যায়, তখন

$$E=\sigma(T-T_0)4T_0^3$$

$$=K(T-T_0), \qquad K=4\sigma T_0^3$$

T_0 স্থির থাকিলে, K একটি ধ্রুবরাশি।

$\therefore\ E\propto(T-T_0)$, ইহাই নিউটনের শীতলীকরণের সূত্র।

উদাহরণ (Examples) :

(1) কোন ধাতব পাত্রের বেধ 1 মি.মি. এবং দেওয়ালগুলির মোট ক্ষেত্রফল 1000 বর্গ সে.মি. ; পাত্রটি বরফ দ্বারা আবৃত করিয়া পাত্রের মধ্যে 100°C তাপমাত্রায় ফুটন্ত জল দেওয়া হইল। প্রতি মিনিটে 80 কিলোগ্রাম বরফ গলিলে ধাতুর পরিবাহিতাঙ্ক নির্ণয় কর। বরফ-গলনের লীন তাপ= 80 ক্যালরি/গ্রাম।

উত্তর : আমরা জানি, $Q=\dfrac{KA(t_2-t_1)t}{d}$

এখানে, $Q=80{,}000\times 80$ ক্যালরি

$A=1000$ বর্গ সে.মি.

$t_2-t_1=100°C$

$d=1$ মি.মি.$=0{\cdot}1$ সে.মি.

$t=60$ সেকেণ্ড।

$$\therefore\ K=\frac{Q.d}{A(t_2-t_1)t}=\frac{80,000\times80\times0{\cdot}1}{1000\times100\times60}$$

$=0{\cdot}107$ **সি. জি. এস. একক.**

(2) 4 সে. মি.² ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট কোন লৌহ ঘনকের এক পৃষ্ঠ বরফ ও বিপরীত পৃষ্ঠ স্টীমের সহিত সংস্পর্শযুক্ত। প্রতি মিনিটে কত পরিমাণ বরফ গলিবে বাহির কর। লোহার পরিবাহিতাঙ্ক=0·2 সি. জি. এস. একক।

উত্তর : $Q=\frac{KA(t_2-t_1)t}{d}$ সূত্রে,

$K=0{\cdot}2$ একক

$A=4$ বর্গ সে. মি.

$t_2-t_1=100°C$

$t=60$ সেকেণ্ড

এবং $d=2$ সে.মি. [কারণ, একটি পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল = 4বর্গ সে.মি.]

$$\therefore\ Q=\frac{0{\cdot}2\times4\times100\times60}{2}=24{,}00 \text{ ক্যালরি।}$$

80 ক্যালরি তাপে 1 গ্রাম বরফ গলে। সুতরাং, 24,00 ক্যালরি তাপে $\frac{2400}{80}$=**30 গ্রাম** বরফ গলিবে।

প্রশ্নাবলী

1. তাপ-সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতিগুলির নাম কর। একটি সহজ পরীক্ষার মাধ্যমে পরিবহন-পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[Name the different methods of heat transmission. Explain the method of conduction with the help of a simple illustration.]

2. তাপ-পরিবাহিতা ও পরিবাহিতাঙ্ক বলিতে কি বোঝ? বিভিন্ন পদার্থের তাপ-পরিবাহিতা বিভিন্ন দেখাইবার জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

[What do you understand by thermal conductivity and co-efficient of thermal conductivity? Describe an experiment to show that different substances have different thermal conductivities.]

3. তাপ-পরিবাহিতা ও তাপ-ব্যাপনতার পার্থক্য বল। সুপরিবাহী ও কুপরিবাহী পদার্থ বলিতে কি বোঝ? উহাদের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ কর।

[Distinguish between thermal conductivity and thermometric conductivity. What do you mean by good conductors and bad conductors ? State a few practical applications of them.]

4. ডেভীর নিরাপত্তাবাতির কার্যকারিতা বল। জল তাপের কুপরিবাহী —একটি সহজ পরীক্ষার সাহায্যে দেখাও।

[Explain the action of Davy's Safety lamp. Water is a bad conductor of heat—show it by a simple experiment.]

5. তাপের পরিচলন ব্যাখ্যা কর। পরিচলন স্রোত কাহাকে বলে? প্রকৃতিতে পরিচলন স্রোতের কয়েকটি উদাহরণ দাও এবং উহার উপযোগিতা বল।

[Explain convection of heat. What is a convection current ? Give a few examples of convection current in nature and state their usefulness.]

6. বিকিরণ বলিতে কি বুঝ? বিকীর্ণ তাপের প্রকৃতি ব্যাখ্যা কর। বিকিরণের কয়েকটি সহজ উদাহরণ দাও।

[What is meant by radiation of heat ? Explain the nature of radiant heat. Give a few examples of radiation.]

7. বিকিরণ-সম্পর্কিত স্টীফানের সূত্রটি বল। এই সূত্রের দুইটি প্রয়োগের উদাহরণ দাও।

[State Stefan's law of radiation and give two applications of this law.]

8. বৈজ্ঞানিক ব্যাখ্যা দাও:

[Give scientific explanation :]

(a) পাতলা কাগজের বাক্সে জল ফুটান সম্ভব।

[Water can be boiled even in a thin paper-box]

(b) শীতকালে একটি পুরু জামার পরিবর্তে দুইটি অর্ধেক পুরু জামা অধিকতর আরামদায়ক।

[In winter, two less thick coats are more comfortable than a thicker coat.]

(c) পশমী পোশাককে 'গরম' পোশাক বলা হয়।

[Wollen clothes are called 'warm' garments.]

(d) ছাতার কাপড়ের রঙ কালো করা হয়।

[Umbrella-cloth is made black.]

(e) চায়ের কাপ-ডিস সাধারণতঃ সাদা রঙের হয়।

[Tea-cups and dishes are usually white.]

(f) রৌদ্রে রাখা একখণ্ড লোহা ও একখণ্ড কাঠকে হাত দিয়া স্পর্শ করিলে লৌহখণ্ড বেশী উত্তপ্ত মনে হয়।

[A piece of iron feels hoter than a piece of wood, both kept in the sun.]

(g) কেটলীর হাতলে বেত জড়ান থাকে

[Cane is coiled on the handle of a Kettle.]

(h) পুরু কাচের গেলাসে গরম জল ঢালিলে গেলাস ফাটিতে পারে, কিন্তু পাতলা গেলাসে সে সম্ভাবনা কম।

[A thick-walled glass is more liable to be broken than a thiner one, if hot water is poured into them.]

(i) খড়ের ছাউনিযুক্ত ঘর টিনের ছাউনিযুক্ত ঘর অপেক্ষা বেশী আরামদায়ক।

[Straw-thatched room is more comfortable than one with corrugated sheets.]

(j) কলকারখানায় চিমনি ব্যবহার করা হয়।

[Chimney is used in factories.]

(k) সমুদ্র-সংলগ্ন স্থানে দিনের বেলা সমুদ্র হইতে স্থলের দিকে বাতাস বয়, কিন্তু রাত্রিতে বিপরীত দিকে ঘটে।

[Air blows towards the coastland from the sea in the day while it blows opposite in the night.

(l) একটি তার-জালি বুনসেন শিখার উপরে ধরিলে শিখা তার-জালি ভেদ করিয়া উপরে উঠে না।

[If a wire-gauge is held above a bunsen flame, the flame fails to penetrate it.]

(m) শুষ্ক শীতের রাত্রে শীতের প্রকোপ বেশী দেখা যায়।

[In a dry cold night, influence of cold goes high.]

(n) রান্নার হাঁড়ির তলদেশ কালো করিলে রান্না তাড়িতাড়ি হয়।

[Cooking is done faster, if the bottom of the pot is made black.]

9. একটি কাঠের বাক্সের সাইজ 100 সে.মি. × 60 সে.মি. × 60 সে.মি. এবং উহার প্রত্যেক পার্শ্ব 2 সে.মি. পুরু। বাক্সটি বরফপূর্ণ করিয়া 30°C তাপমাত্রার জলে ডুবান হইল। প্রতি সেকেণ্ডে কত বরফ গলিবে বাহির কর। কাঠের পরিবাহিতাঙ্ক 4×10^{-4} সি.জি.এস. একক।

[A wooden box measures 100 cms. × 60 cms. × 60 cms. and each face is 2 cms. thick. The box is filled up with ice and then immersed in water at 30°C. Find how much ice will melt in a second, given, thermal conductivity of wood $= 4 \times 10^{-4}$ C.G.S. units.] [H. S] [Ans. 2·34 gms.]

10. এক ব্যক্তি 4 মি.মি. পুরু ফ্লানেল দ্বারা শরীর আবৃত করিল। পরিপার্শ্বের তাপমাত্রা 27°C হইলে লোকটি শরীরের প্রতি একক বর্গমিটারে প্রতি ঘণ্টায় কত তাপ হারাইবে? ফ্লানেলের পরিবাহিতাঙ্ক $= 12 \times 10^{-5}$ এবং শরীরের তাপমাত্রা 98·6°F.

[A man wraps himself in flannel 4 mm. thick. How much heat will he lose per sq. metre of his body per hour if the outside temperature is 27°C. Conductivity of flannel is 12×10^{-5} and the temperature of the human boby is 98·6°F.] [Ans. 108000 Cals.]

11. একটি 20 মিটার বর্গ পুকুরে 5 সে.মি. পুরু বরফ জমিয়াছে। বাহিরের বায়ুর তাপমাত্রা −5°C হইলে প্রতি ঘণ্টায় বরফের ভিতর দিয়া পুকুরের জল হইতে কত তাপ বায়ুমণ্ডলে পরিবাহিত হইবে? বরফের পরিবাহিতাঙ্ক=0·00568.

[A pond, 20 metres square, is covered with a sheet of ice 5 cm. thick; the temperature of the air is −5°C. How much heat will pass in an hour from the water through the ice? The thermal conductivity of ice is 0·00568.]

[Ans. 81792000 Cals.]

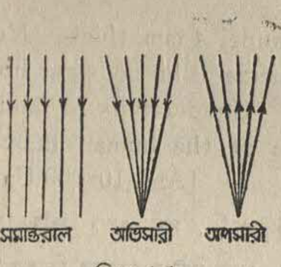
আলোক বিজ্ঞান (Light)

প্রথম অধ্যায়

ফটোমিতি (Photometry)

1.1. সূচনা : আলোকের সরলরেখায় গমন (Introduction : Rectilinear propagation of light) :

তোমরা সপ্তম ও নবম শ্রেণীতে আলোকের সাধারণ গুণাবলী সম্বন্ধে কিছুটা পরিচিত হইয়াছ। আলোক হইল এমন এক শক্তি যাহা আমাদের চোখে দর্শনের অনুভূতি জন্মায়। কোন স্বপ্রভ বা অপ্রভ বস্তু হইতে আলোক পারিপার্শ্বিক বস্তুসমূহের উপর পড়ে। বস্তু হইতে সেই আলোক আমাদের চোখে প্রবেশ করিলেই আমরা বস্তুসমূহকে দেখিতে পাই। উৎস হইতে নির্গত হইয়া আলোক কোন-না-কোন মাধ্যমের মধ্য দিয়া এক নির্দিষ্ট পথে গমন করে; এই মাধ্যম স্বচ্ছ ও সমসত্ত্ব হইলে ইহার ভিতর আলোকের গতিপথ সরলরৈখিক হয়। আলোকের এই গতিপথকে আলোকের রশ্মি (Rays of light) এবং এই আলোকরশ্মির সমষ্টিকে আলোক কিরণ (pencil of light বা beam of light) বলে। আলোক কিরণ সমান্তরাল, অভিসারী বা অপসারী (চিত্র 1.1) হইতে পারে। কিন্তু সমসত্ত্ব মাধ্যমে ইহারা সবসময়ই সরলরৈখিক হইবে।



চিত্র 1.1

স্বচ্ছ ও সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোকের সরলরেখায় গমনের একাধিক প্রমাণ তোমরা তোমাদের দৈনন্দিন জীবনে দেখিতে পাও। অন্ধকার ঘরের জানালার কোন ছিদ্র দিয়া সূর্যরশ্মি ভিতরে প্রবেশ করিলে বায়ুতে ভাসমান অসংখ্য ধূলিকণা সূর্যালোকে উদ্ভাসিত হইয়া উঠে এবং তখনই আমরা আলোকরশ্মির গতিপথ দেখিতে পাই। অনুরূপে, অন্ধকার রাস্তায় গাড়ীর হেডলাইটে বায়ুর ধূলিকণা আলোকিত হইয়া উঠে। এক্ষেত্রেও আলোকিত ধূলিকণাগুলি আলোকরশ্মির গতিপথ নির্দেশ করে। উভয়ক্ষেত্রেই আলোকের এই গতিপথ যে সরলরৈখিক তাহা আমরা সহজেই বুঝিতে পারি।

ইহা ছাড়াও, আলোকের সরলরৈখিক গমনের একটি বাস্তব উদাহরণ হইল অস্বচ্ছ বস্তুর দ্বারা সৃষ্ট ছায়া (formation of shadows) যাহার ফলে সূর্য-গ্রহণ (solar eclipse) ও চন্দ্রগ্রহণ (lunar eclipse) হইয়া থাকে। তোমরা সপ্তম শ্রেণীতে এ সম্বন্ধে বিস্তারিত জ্ঞানলাভ করিয়াছ। বস্তুর যে দিকে আলোকের উৎস থাকে তাহার বিপরীত দিকে বস্তুর এক অবিকল কালো প্রতিকৃতি পড়ে। ইহাকেই বস্তুর ছায়া বলে। গ্রহণের সময় সূর্য্য, চন্দ্র ও পৃথিবী এক সরলরেখায় থাকে। সেক্ষেত্রে, চন্দ্র যদি পৃথিবী ও সূর্যের মধ্যে আসিয়া পড়ে তবে চন্দ্রের ছায়া পৃথিবীপৃষ্ঠের যে অংশে পড়ে, সেখানে চন্দ্র কর্তৃক সূর্য ঢাকা পড়িয়া সূর্যগ্রহণের সৃষ্টি করে। আবার চন্দ্র যদি সূর্যের বিপরীত দিকে পৃথিবীর ছায়ার মধ্যে ঢুকিয়া পড়ে তবে চন্দ্রগ্রহণের সৃষ্টি হয়।

ক্যামেরার সাহায্যে ফটো তোলা আলোকের সরলরেখায় গমনের একটি বাস্তব প্রয়োগ। আলোকের সরলরৈখিক পথে গমনের ধর্ম অবলম্বনে সূচীছিদ্র ক্যামেরার ব্যবহার তোমরা সপ্তম শ্রেণীতে দেখিয়াছ।

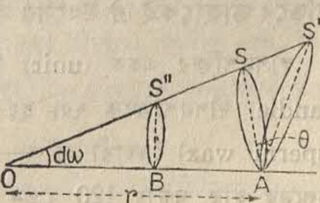
1.2. ফটোমিতি কাহাকে বলে? (What is Photometry ?) :

তোমরা জান, আলোক একপ্রকার শক্তি। এই আলোকশক্তির পরিমাপের পদ্ধতিকে ফটোমিতি বলে। ফটোমিতি পর্যালোচনার পূর্বে এ-সম্পর্কিত কয়েকটি রাশির সহিত পরিচিত হওয়া প্রয়োজন। সেগুলি আলোচনার পূর্বে ঘনকোণ বলিতে কি বোঝায়, তাহা প্রথমে জানা দরকার।

1.3. ঘনকোণ (Solid angle) :

সমতলের পরিবর্তে ত্রিমাত্রিক দেশে (three dimensional space) কোন কোণ অঙ্কন করিলে তাহাকে ঘনকোণ বলে।

কোন ক্ষেত্রফলের (S') সীমারেখার বিভিন্ন বিন্দু হইতে যদি অন্য কোন বিন্দু (O) পর্যন্ত সরলরেখা টানা যায় তবে একটি শঙ্কু উৎপন্ন হইবে (চিত্র 1.2) যাহার শীর্ষ হইবে O বিন্দু। এই O বিন্দুতে S' ক্ষেত্রফল যে কোণ উৎপন্ন করিবে উহাই S' ক্ষেত্রফল কর্তৃক আবদ্ধ ঘনকোণ ($d\omega$)।



চিত্র 1.2

O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া এবং $OA=r$ ব্যাসার্ধ লইয়া একটি গোলক কল্পনা করিলে ধরা যাক, উক্ত গোলক পূর্বোক্ত শঙ্কুকে S ক্ষেত্রফলে ছেদ করিল।

সংজ্ঞা অনুযায়ী ঘনকোণ, $d\omega=\frac{S}{r^2}=\frac{S'\cos\theta}{r^2}$

($\theta=S$ ও S'-এর মধ্যবর্তী কোণ)

এখন, $r=1$ হইলে, ধরা যাক এই গোলক পূর্বোক্ত শঙ্কুকে S'' ক্ষেত্রফলে ছেদ করিল।

এক্ষেত্রে, ঘনকোণ, $d\omega=\frac{S''}{1^2}=S''$

অর্থাৎ, S' ক্ষেত্রফল O বিন্দুতে যে ঘনকোণ উৎপন্ন করে তাহা S'' ক্ষেত্রফলের সমান।

এখন, কোন গোলকের তলের মোট ক্ষেত্রফল S এবং ব্যাসার্ধ r হইলে উহা কেন্দ্রে যে ঘনকোণ উৎপন্ন করে তাহা হইল,

$$\omega=\frac{S}{r^2}=\frac{4\pi r^2}{r^2}=4\pi.$$

1.4. ফটোমিতি সম্পর্কিত রাশিসমূহ (Photometric quantities):

(i) **উৎসের দীপনশক্তি (Luminous Intensity):** কোন উৎসের দীপনশক্তি বলিতে আলোক সৃষ্টির ব্যাপারে সেই উৎস কত তীব্র তাহা বোঝায়। একটি মোমবাতি যত তীব্র আলোক প্রদান করিতে পারে, একটি বৈদ্যুতিক বাতি তদপেক্ষা তীব্রতর আলোক প্রদান করে। এই অর্থে দীপনশক্তির সংজ্ঞা হইবে নিম্নরূপ:

কোন উৎস হইতে একক দূরত্বে অবস্থিত একক ক্ষেত্রফলযুক্ত স্থানে (বা একক ঘনকোণে) প্রতি সেকেণ্ডে যতখানি আলো লম্বভাবে পড়িবে তাহাকেই ঐ উৎসের দীপনশক্তি বলে।

দীপনশক্তির একক (unit) হিসাবে একটি প্রমাণ দীপের (standard candle) দীপনশক্তিকে ধরা হয়। এই প্রমাণ দীপটি একটি স্পারম্ মোমের (sperm wax) তৈয়ারী বাতি—যাহার ব্যাস $\frac{7}{8}$ ইঞ্চি, ওজন $\frac{1}{6}$ পাউণ্ড ও জ্বলনের হার ঘণ্টায় 120 গ্রেন। ইহার দীপনশক্তিকে **এক ক্যাণ্ডেল পাওয়ার** (Candle Power) বা C. P. বলে।

আন্তর্জাতিক দীপনশক্তির এককের নাম **ক্যাণ্ডেলা** (Candela)। প্ল্যাটিনামের গলনাঙ্কে রক্ষিত কোন কৃষ্ণবর্ণের বিকিরকের (black body radiator) এক বর্গ সেন্টিমিটার ছিদ্র হইতে যত আলোক নির্গত হয়, তাহার 60 ভাগের একভাগকে ক্যাণ্ডেলা বলে।

(ii) **আলোক প্রবাহ** (Luminous flux) : একটি বিন্দু-প্রভব (point source)-কে কেন্দ্র করিয়া উহার চতুর্দিকে একটি গোলক বা বদ্ধতল (closed surface) কল্পনা করিলে **আলোক যে হারে ঐ বদ্ধতল অতিক্রম করে তাহাকে আলোক প্রবাহ বলে।** আলোক প্রবাহের এককের নাম লুমেন (Lumen)। এক ক্যাণ্ডেলা দীপনশক্তির কোন বিন্দু-প্রভব একক ঘনকোণের মধ্য দিয়া যতখানি আলো পাঠায় তাহাকে এক লুমেন বলে।

যেহেতু, কোন বদ্ধতল কেন্দ্রে মোট 4π ঘনকোণ উৎপন্ন করে, অতএব, **1 ক্যাণ্ডেলা $=4\pi$ লুমেন।**

(iii) **দীপনমাত্রা** (Intensity of illumination) :

কোন তলের **কোন বিন্দুর দীপনমাত্রা বলিতে ঐ বিন্দুর চতুষ্পার্শস্থ একক বর্গতলে প্রতি সেকেণ্ডে উৎস হইতে যে পরিমাণ আলো পড়ে তাহাকে বুঝায়।** যদি A বর্গস্থলে প্রতি সেকেণ্ডে সমভাবে Q পরিমাণ আলো পড়ে তবে ঐ স্থানের দীপনমাত্রা, $I=\dfrac{Q}{A}$

এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে দীপনমাত্রার একক হইল **ফুট-ক্যাণ্ডেল** (foot-candle)। প্রতি বর্গফুট ক্ষেত্রে লম্বভাবে এক সেকেণ্ডে এক লুমেন আলো পড়িলে ঐ দীপনমাত্রাকে এক ফুট-ক্যাণ্ডেল বলে।

সি. জি. এস. পদ্ধতিতে দীপনমাত্রার একক হইল লাক্স (Lux) বা মিটার-**ক্যাণ্ডেল** (metre-candle)। এক বর্গমিটার স্থানে লম্বভাবে এক লুমেন আলো পড়িলে ঐ তলের দীপনমাত্রাকে বলা হয় লাক্স। আবার এক বর্গ-সেন্টিমিটার স্থানে লম্বভাবে এক লুমেন আলো পড়িলে সেই দীপনমাত্রাকে বলে **ফট** (phot) বা **সেন্টিমিটার ক্যাণ্ডেল।**

অতএব, 1 লাক্স $=1$ মিটার-ক্যাণ্ডেল $=1$ লুমেন/বর্গমিটার

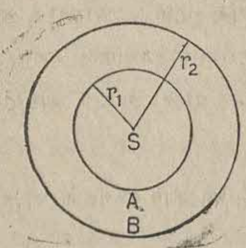
1 ফট $=1$ সে.মি. ক্যাণ্ডেল $=1$ লুমেন/বর্গ সে.মি. $=10^4$ লাক্স

1 ফুট-ক্যাণ্ডেল $=1$ লুমেন/বর্গফুট $=10\cdot764$ লাক্স।

প্রসঙ্গত উল্লেখ করা যাইতে পারে যে, সূর্যের আলোকের ভূপৃষ্ঠে দীপন-মাত্রা প্রায় 60,000 ফুট-ক্যাণ্ডেল, আর পূর্ণিমার রাত্রিতে ভূপৃষ্ঠে চন্দ্রের দীপনমাত্রা মাত্র 1 ফুট-ক্যাণ্ডেলের সমান।

1.5 দীপনমাত্রা সম্পর্কিত ব্যস্তবর্গের সূত্র (Inverse square law of illumination) :

ধরা যাক্, S একটি বিন্দু উৎস (চিত্র 1.3) এবং ইহা হইতে আলোক সমভাবে চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়িতেছে। A এবং B দুইটি সমকেন্দ্রিক গোলক কল্পনা করা হইল যাহাদের কেন্দ্র S এবং ব্যাসার্ধ যথাক্রমে r_1 ও r_2। ধরা যাক্, প্রতি সেকেণ্ডে Q পরিমাণ আলোক A গোলক অতিক্রম করে। A-এর ভিতরের পৃষ্ঠে যে-কোন বিন্দুর দীপনমাত্রা I_1 ধরিলে, $I_1 = \frac{Q}{4\pi r_1^2}$; এখানে $4\pi r_1^2 = A$ গোলকের ক্ষেত্রফল। অনুরূপে, A গোলকের পরিবর্তে B গোলক রাখিলে ঐ একই পরিমাণ আলো B গোলক অতিক্রম করিবে। B গোলকের ভিতরের পৃষ্ঠে কোন বিন্দুতে দীপনমাত্রা I_2 ধরিলে, $I_2 = \frac{Q}{4\pi r_2^2}$; এখানে $4\pi r_2^2 = B$ গোলকের ক্ষেত্রফল।



চিত্র 1.3

$$\therefore \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{Q}{4\pi r_1^2} \Big/ \frac{Q}{4\pi r_2^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad \cdots (1)$$

অর্থাৎ $I \propto \frac{1}{r^2}$, ইহাই ব্যস্তবর্গের সূত্র।

ইহার অর্থ হইল, কোন উৎস কর্তৃক কোন বিন্দুতে উৎপন্ন দীপনমাত্রা বিন্দু ও উৎসের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

1.6. ফটোমিটার (Photometer) :

ফটোমিটার এমন একটি যন্ত্রবিশেষ যাহার সাহায্যে কোন উৎসের দীপনশক্তির তুলনা বা নির্ণয় করা যায়। ইহার নীতি নিম্নরূপ :

1.3 চিত্রে S বিন্দু-উৎসের দীপনশক্তি L ধরিলে, দীপনশক্তি ও দীপনমাত্রার সংজ্ঞা হইতে বলিতে পারি, L হইল এক একক দূরত্বে দীপনমাত্রার মান। এই নিয়মে, A গোলকের ব্যাসার্ধ $r_1 = 1$ ও দীপনমাত্রা $I_1 = L$ এবং B গোলকের ব্যাসার্ধ $r_2 = r$ ও দীপনমাত্রা $I_2 = I$ ধরিলে (1) নং সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$\frac{L}{I}=\frac{r^2}{1^2} \text{ বা } I=\frac{L}{r^2}$$

$$\text{বা, দীপনমাত্রা}=\frac{\text{দীপনশক্তি}}{\text{দূরত্বের বর্গ}}$$

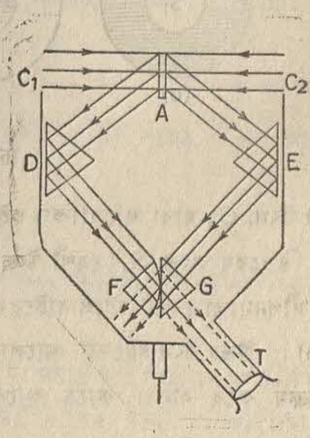
এখন, ধরা যাক, দুইটি আলোক উৎস S_1 ও S_2 একটি পর্দা হইতে যথাক্রমে r_1 ও r_2 দূরত্বে আছে এবং ইহাদের দীপনশক্তি যথাক্রমে L_1 ও L_2। উৎস দুইটি এই অবস্থায় যদি পর্দার উপর সমান দীপনমাত্রা সৃষ্টি করে তবে, প্রথম উৎস (S_1) কর্তৃক পর্দায় সৃষ্ট দীপনমাত্রা $=\frac{L_1}{r_1^2}=$ দ্বিতীয় উৎস(S_2) কর্তৃক পর্দায় সৃষ্ট দীপনমাত্রা $=\frac{L_2}{r_2^2}$।

$$\therefore \quad \frac{L_1}{r_1^2}=\frac{L_2}{r_2^2} \text{ বা } \frac{L_1}{L_2}=\frac{r_1^2}{r_2^2}$$

অর্থাৎ, **দুইটি উৎস কোন পর্দায় সমান দীপনমাত্রা সৃষ্টি করিলে উহাদের দীপনশক্তি পর্দা হইতে উহাদের দূরত্বের বর্গের সমানুপাতিক। ইহাই ফটোমিতির মূল সূত্র** এবং ফটোমিটার যন্ত্রে এই সূত্রের প্রয়োগ করিয়াই উৎসের দীপনশক্তির তুলনা করা যায় বা একটির দীপনশক্তির মান জানা থাকিলে, অন্যটির মান নির্ণয় করা যায়।

1.6a. লুমার-ব্রডহান ফটোমিটার (Lummer Brodhun photometer) :

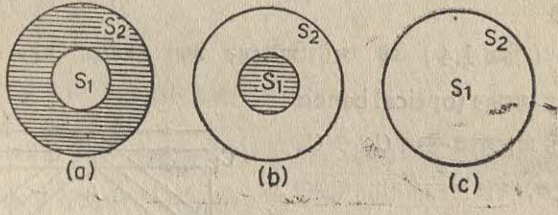
চিত্রে (চিত্র 1.4) এই ফটোমিটারের নক্সা দেখানো হইল। একটি আলোকীয় বেঞ্চের (optical bench) উপর দুইটি আলোক-উৎস C_1 ও C_2 রাখা থাকে, যাহাদের দীপনশক্তির তুলনা করা হয়। এই দুই উৎসের মধ্যবর্তী স্থানে একটি ম্যাগনেসিয়াম কার্বনেটের সাদা ও অমসৃণ পর্দা (A) রাখা থাকে। দুই উৎস হইতে আলো ইহার দুই তলে সমান্তরালভাবে আপতিত হইয়া চতুর্দিকে বিক্ষিপ্ত (diffuse) হইবে। D ও E দুইটি পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজম। A পর্দার দুই তল হইতে বিক্ষিপ্ত আলোকরশ্মি এই দুই প্রিজমে পূর্ণ প্রতিফলিত



চিত্র 1.4

হইয়া দুই দিক হইতে দুইটি সমদ্বিবাহু ও সমকোণী প্রিজম-সমন্বয় (F ও G)-এর উপর আসিয়া পড়ে। এই দুই প্রিজম (F ও G) ইহাদের অতিভুজ তলদ্বয়ের মাঝামাঝি খানিকটা গোলাকার জায়গায় পরস্পরকে স্পর্শ করিয়া থাকে এবং অন্যান্য অংশে একটি পাতলা বায়ুস্তর ইহাদের পৃথক করিয়া থাকে। F প্রিজমের এই তলের মধ্যভাগ ছাড়িয়া চারিপাশ ঘষিয়া এইরূপ করা হয়। এইরূপ করিবার ফলে C_1 উৎস হইতে D প্রিজমে পূর্ণ প্রতিফলিত আলোকরশ্মির মধ্যবর্তী অংশ ঐ প্রিজম-সমন্বয়ের মাঝামাঝি অঞ্চল দিয়া সরাসরি চলিয়া গিয়া T দূরবীক্ষণে প্রবেশ করে কিন্তু অন্যান্য রশ্মিগুলির F প্রিজমের ভিতর দিক-বিচ্যুতি ঘটে। আবার, C_2 হইতে E প্রিজমে পূর্ণ-প্রতিফলিত আলোকরশ্মির বাইরের অংশ G প্রিজমের অতিভুজ তলের বাইরের দিকে পড়িয়া পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া T দূরবীক্ষণে প্রবেশ করে, কিন্তু মধ্যবর্তী রশ্মি এই সমন্বয়ের মধ্য দিয়া সরাসরি চলিয়া যায়। চিত্রে এই দুই-রকম রশ্মিকে টানা লাইন ও কাটা লাইন দ্বারা দেখানো হইয়াছে।

এখন দূরবীক্ষণ যন্ত্রের মধ্য দিয়া দেখিলে সমগ্র দৃষ্টিক্ষেত্র (field of view) দুইটি সমকেন্দ্রিক গোলাকার অংশে বিভক্ত দেখা যাইবে (চিত্র 1.5)। ইহাদের ভিতরের অংশ (S_1) উৎস C_1 দ্বারা আলোকিত হইবে এবং বাহিরের অংশ



চিত্র 1.5

(S_2) উৎস, C_2 দ্বারা আলোকিত হইবে। যদি C_1 এর দীপনমাত্রা বেশী হয়, তবে ভিতরের অংশ (S_1) বেশী উজ্জ্বল দেখাইবে (চিত্র 1.5a)। আর, C_2-এর দীপনমাত্রা বেশী হইলে বাইরের অংশ (S_2) বেশী উজ্জ্বল দেখাইবে (চিত্র 1.5b)। উভয় উৎস হইতেই আলোকরশ্মি কাচের মধ্য দিয়া সমান দূরত্ব অতিক্রম করে বলিয়া কাচে আলোকের শোষণ উভয়ের ক্ষেত্রেই সমান হইবে।

এখন উৎস দুইটির অবস্থান পরিবর্তিত করিয়া পর্দা (A) হইতে ইহাদের দূরত্ব এমন করা হইল যাহার সমগ্র দৃষ্টিক্ষেত্র সমভাবে উজ্জ্বল দেখায়। তখন

আর S_1 ও S_2 পৃথকভাবে চেনা যাইবে না (চিত্র 1.5c)। এই অবস্থায় A পর্দায় উভয় উৎস-ই সমান দীপনমাত্রা সৃষ্টি করিবে। এখন উৎসদ্বয়ের দীপন-শক্তি L_1 ও L_2 এবং পর্দা (A) হইতে ইহাদের দূরত্ব যথাক্রমে r_1 ও r_2 হইলে ফটোমিতির মূলসূত্র প্রয়োগ করিয়া লেখা যায়,

$$\frac{L_1}{L_2}=\frac{r_1^2}{r_2^2}$$

অতএব, r_1 ও r_2 মাপিয়া উভয়ের দীপনশক্তির তুলনা বা একটির দীপন-শক্তি জানা থাকিলে এই সমীকরণ হইতে অন্যটির দীপনশক্তির মান নির্ণয় করা যায়।

আধুনিক যন্ত্রে উৎসদ্বয়ের অবস্থান বিনিময় করিবার ব্যবস্থা থাকে। এই ক্ষেত্রে, A রেখাকে অক্ষ করিয়া সমগ্র ব্যবস্থাকে 180° ঘুরাইয়া দুই উৎসের স্থান বিনিময় করা যায়।

প্রশ্নাবলী

1. ফটোমিতি কি? দীপনশক্তি ও দীপনমাত্রা বলিতে কি বুঝায়? ইহাদের মধ্যে সম্পর্ক কি?

[What is photometry ? What are meant by the illuminating power and the intensity of illumination ? What is the relation between them ?]

2. নিম্নলিখিত রাশিগুলি ব্যাখ্যা কর :—

(i) ক্যাণ্ডেল-পাওয়ার, (ii) ক্যাণ্ডেলা, (iii) লুমেন, (iv) লাক্স, (v) ফট।

[Explain the following terms :—

(i) Candle-Power, (ii) Candella, (iii) Lumen (iv) Lux, (v) Phot.]

3. ফটোমিতির মূলনীতি কি? ফটোমিটার যন্ত্রে কিভাবে এই নীতির প্রয়োগ করা হয়? এইরূপ একটি ফটোমিটারের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

[What is the principle of photometry ? How is this

principle applied in a photometer ? Explain the construction and principle of working of such a photometer.]

4. প্রমাণ কর যে, কোন স্থানের দীপনমাত্রা ঐ স্থান হইতে উৎসের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। কিভাবে দুইটি উৎসের দীপনশক্তির তুলনা করা হয় ?

[Prove that the intensity of illumination is inversely proportional to the square of the distance from the source. How would you compare the illuminating powers of two sources of light ?]

5. ফটোমিটার কি ? ইহার সাহায্যে কি নির্ণয় করা হয় ? লুমার-ব্রডহান ফটোমিটারের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

[What is a photometer ? What is measured with a photometer ? Describe and explain the principle of working of a Lummer-Brodhun photometer.]

———

দ্বিতীয় অধ্যায়

আলোকের প্রতিফলন (Reflection of Light)

2.1 সমতলে আলোকের প্রতিফলন (Reflection of light at plane surfaces) **:**

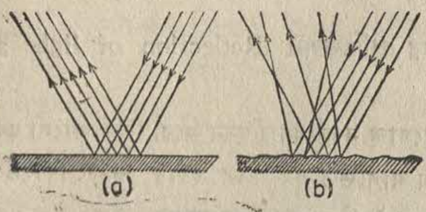
কোন সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোক সরলরেখায় গমন করে, কিন্তু আলো যখন এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে আপতিত হয় তখন ইহার কিয়দংশ দ্বিতীয় মাধ্যমের তল হইতে পুনরায় সরল রৈখিক পথে প্রথম মাধ্যমেই ফিরিয়া আসে। ইহাকেই আলোকের **প্রতিফলন** বলে। এক্ষেত্রে দ্বিতীয় মাধ্যমকে আলোকের প্রতিফলক (reflector), ইহার উপর আপতিত রশ্মিকে আপতিত রশ্মি (incident ray) এবং ইহা হইতে প্রথম মাধ্যমে প্রত্যাগত রশ্মিকে প্রতিফলিত রশ্মি (reflected ray) বলে। আপতিত আলোকরশ্মি প্রতিফলকের উপর তির্যকভাবে পড়িলে প্রতিফলিত রশ্মি অন্য সরলরেখায় প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। কিন্তু, লম্বভাবে পড়িলে প্রতিফলিত রশ্মি একই পথে প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। আবার আপতিত আলোর কত অংশ প্রতিফলিত হইবে তাহা নির্ভর করে (i) আপতিত আলো প্রতিফলকের উপর কত কোণে আপতিত হয় তাহার এবং (ii) মাধ্যমদ্বয়ের প্রকৃতির উপর। আলোক-রশ্মি প্রতিফলকের উপর যত কাত হইয়া পড়িবে, তত বেশী পরিমাণ আলোর প্রতিফলন হইবে।

প্রতিফলকের তল অনুযায়ী আলোকের প্রতিফলন দুই রকমের হইতে পারে। যথা—(a) নিয়মিত প্রতিফলন (regular reflection), (b) বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন (diffuse reflection)।

(a) **নিয়মিত প্রতিফলন :** প্রতিফলকের তল যদি মসৃণ হয়, তবে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি একটি নির্দিষ্ট দিকে যাইবে। যদি আপতিত রশ্মিগুলি সমান্তরাল হয়, তবে এক্ষেত্রে প্রতিফলিত রশ্মিগুলিও সমান্তরাল হইবে (চিত্র 2.1a)। এই ধরনের প্রতিফলনকে নিয়মিত প্রতিফলন বলে। সমতল আয়নার পারদের তল হইতে এইরূপ প্রতিফলন হয়। প্রতিফলিত রশ্মিগুলির দিকে সেইজন্য আয়নাকে খুব চকচকে দেখায়।

(b) **বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন :** যদি প্রতিফলকের তল অমসৃণ হয় তবে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়িবে এবং আপতিত রশ্মিগুলির

সহিত ইহাদের কোন মিল থাকিবে না। 2.1b চিত্রে একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি একটি অমসৃণ তলে আপতিত হইয়াছে। ইহাদের প্রতিফলিত রশ্মিগুলি কিন্তু সমান্তরাল নয়।



চিত্র 2.1

আপতিত রশ্মিগুলির প্রত্যেকেরই অবশ্য নিয়মিত প্রতিফলন হইবে, কিন্তু প্রতিফলকের তল অমসৃণ হওয়ার দরুণ প্রত্যেক আপতন বিন্দুতে অভিলম্ব বিভিন্নমুখী হইবে। ফলে, প্রতিফলিত রশ্মিগুলি চতুর্দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে। এইরূপ প্রতিফলনকেই বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন বলে।

সাধারণতঃ ঘষা কাচ, সাদা কাগজ, ঘরের দেওয়াল, সিনেমার পর্দা প্রভৃতি অমসৃণ প্রতিফলক। ইহাদের তল হইতে বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনের ফলে বিভিন্ন দিক হইতে ইহাদিগকে সমান আলোকিত দেখায়।

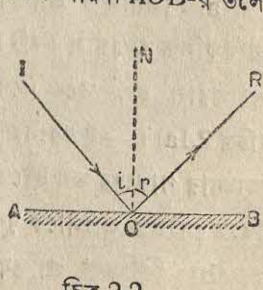
2.2. নিয়মিত প্রতিফলনের সূত্রাবলী (Laws of regular reflection):

নিয়মিত প্রতিফলন দুইটি নির্দিষ্ট নিয়ম মানিয়া চলে। ইহাদের **নিয়মিত প্রতিফলনের সূত্র** (Laws of reflection) বলে। সূত্র দুইটি নিম্নরূপ:

(i) আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি ও আপতন বিন্দুতে প্রতিফলকের উপর অঙ্কিত লম্ব একই সমতলে অবস্থান করিবে;

(ii) আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ সর্বদা সমান হইবে।

চিত্রে একটি আলোক রশ্মি IO একটি সমতল আয়না AOB-র তলে O বিন্দুতে আপতিত হইয়া OR পথে প্রতিফলিত হইয়াছে (চিত্র 2.2)। O বিন্দুতে AOB তলে অঙ্কিত অভিলম্ব ON। আপতিত রশ্মি ও অভিলম্বের মধ্যে $\angle ION=i$, আপতন কোণ এবং প্রতিফলিত রশ্মি ও অভিলম্বের মধ্যে $\angle RON=r$, প্রতিফলিত কোণ। নিয়মিত প্রতিফলনের নিয়মে $i=r$ হইবে এবং IO, ON ও OR একই তলে অবস্থান করিবে।

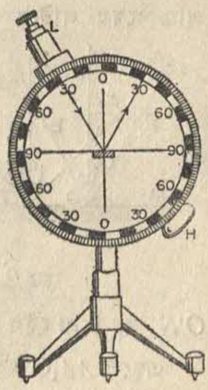


চিত্র 2.2

2.2a. নিয়মিত প্রতিফলনের সূত্রদ্বয়ের পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Experimental verification of the laws of regular reflection) :

(A) **হার্টলের আলোকচক্র দ্বারা** (By Hartle's Optical disc) :

একটি চক্রাকার ধাতব পাত্র উল্লম্বভাবে (vertically) একটি শক্ত ধাতব স্ট্যাণ্ডের সহিত এমনভাবে লাগানো থাকে, যাহাতে চক্রটি ইহার কেন্দ্রের মধ্য দিয়া একটি অনুভূমিক অক্ষের চারিপাশে ঘুরিতে পারে (চিত্র 2.3)। চক্রটি চারিটি কক্ষে বিভক্ত এবং প্রত্যেক কক্ষই 0 হইতে 90 ডিগ্রীতে ভাগ করা থাকে। চক্রটির কেন্দ্রস্থলে ইহার অক্ষের সহিত একই তলে একটি ছোট আয়না অনুভূমিক অবস্থায় 90°—90° লাইনের সহিত লাগানো থাকে। ফলে 0°—0° লাইন ইহার অভিলম্ব। একটি আলোর উৎস (L) চক্রটির পরিধির বাইরে এমনভাবে থাকে, যাহাতে একটি হাতল (H) দ্বারা ইহার অবস্থান পরিবর্তিত করা যায়। একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র দিয়া উৎস হইতে আলোকরশ্মি চক্রটির তল ঘেঁষিয়া আয়নাটির উপর চক্রটির কেন্দ্রে পড়ে এবং প্রতিফলিত রশ্মি চক্রটির অন্য একটি কক্ষে চক্রটির তল ঘেঁষিয়া যায়। ফলে আলোর এবং চক্রের কোন এক বিশেষ অবস্থানে চক্রের তলে আলোর সাদা রেখা হইতে আপতিত রশ্মি এবং প্রতিফলিত রশ্মির অবস্থানের পাঠ সোজাসুজি চক্রাকার স্কেল হইতে লওয়া যায়।

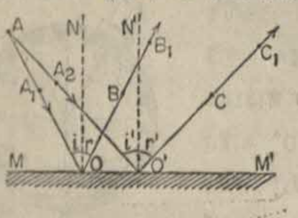


চিত্র 2.3

2.3 চিত্রে দেখা যাইতেছে যে, একটি আলোকরশ্মি অভিলম্ব 0°—0° লাইনের সহিত 30° কোণ করিয়া আয়নার উপর আপতিত হইয়াছে এবং 30° কোণেই অভিলম্বের অপরপার্শ্বে প্রতিফলিত হইয়াছে। আলোর বা চক্রের অবস্থান বদলাইয়া আপতন কোণের মান বদলানো যায়, কিন্তু প্রত্যেক ক্ষেত্রেই আপতিত ও প্রতিফলিত রশ্মি চক্রের তল ঘেঁষিয়া যাইবে এবং আপতন কোণ প্রতিফলন কোণের সমান হইবে। অতএব (i) আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি ও অভিলম্ব (0—0 লাইন) সর্বদাই একই তলে অবস্থিত এবং (ii) আপতন কোণ সবসময়ই প্রতিফলন কোণের সমান। নিয়মিত প্রতিফলনের দুইটি সূত্রই এইভাবে এই যন্ত্রের সাহায্যে প্রমাণ করা যায়।

(B) **পিনের সাহায্যে** (Pin method) :

একটি সমতল বোর্ডে একখণ্ড সাদা কাগজ আঁটিয়া তাহার উপর একটি লাইন টানা হইল। একটি আয়না MM' লাইনটি মিলাইয়া লম্বভাবে রাখা হইল (চিত্র 2.4)। আয়নার সামনে কাগজের উপর দুইটি পিন A, A_1 লম্বভাবে গাঁথা হইল। এখন আয়নার ভিতর A, A_1-এর প্রতিবিম্ব লক্ষ্য করিয়া আরও দুইটি পিন B, B_1-কে এমনভাবে কাগজে আটকানো হইল, যাহাতে B, B_1 পিন ও A, A_1 পিনের প্রতিবিম্ব একই সরলরেখায় থাকে। অনুরূপভাবে, কাগজের উপর আর একটি পিন A_2 গাঁথা হইল এবং আয়নার মধ্যদিয়া A, A_2-এর প্রতিবিম্বের লাইনে অন্য দুইটি পিন C, C_1 কাগজে আটকানো হইল। এখন আয়না ও পিনগুলি সরাইয়া AA_1 ও BB_1 এবং AA_2 ও CC_1 রেখাগুলি বর্ধিত করিলে ইহারা আয়নার রেখার উপর যথাক্রমে O এবং O' বিন্দুতে মিলিত হইবে। O এবং O' হইতে MM'-র উপর যথাক্রমে ON এবং $O'N'$ লম্ব টানা হইল।



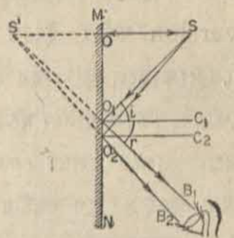
চিত্র 2.4

এস্থলে AA_1O এবং AA_2O' আপতিত রশ্মি, B_1BO এবং C_1CO' ইহাদের প্রতিফলিত রশ্মি, ON এবং $O'N'$ ইহাদের অভিলম্ব। ইহারা সকলেই কাগজের তলে অবস্থিত বলিয়া প্রথম সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হইল। আবার আপতন কোণ $\angle AON(=i)$ এবং প্রতিফলন কোণ $\angle B_1ON(=r)$ মাপিলে দেখা যাইবে যে, $i=r$। অনুরূপ, $i'=r'$। আপতন কোণের মান এইরূপে একাধিক বার পরিবর্তন করিলেও সবসময়ই আপতন কোণ=প্রতিফলন কোণ হইবে। অতএব প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্রও প্রমাণিত হইল।

2.3. সমতল দর্পণে প্রতিবিম্ব গঠন (Formation of image by a plane mirror) :

কোন বস্তু হইতে আলোকরশ্মি যখন সোজাসুজি আমাদের চোখে আসিয়া পড়ে, তখন আমরা বস্তুকে যথাস্থানে দেখি। বস্তু হইতে আলোকরশ্মি প্রতিফলিত হইয়া আমাদের চোখে পড়িলেও আমরা বস্তুটিকে দেখিতে পাই, কিন্তু তখন মনে হয় বস্তুটি অন্যস্থানে আছে। বাস্তবে কিন্তু বস্তুটি কোন স্থান পরিবর্তন করে না। নতুন অবস্থানে আমরা যাহা দেখি, তাহা হইল বস্তুটির **প্রতিবিম্ব** (image)।

2.5 চিত্রে MN আয়নার সম্মুখে S একটি আলোকবিন্দু। S হইতে SO আলোকরশ্মি MN আয়নার উপর O বিন্দুতে লম্বভাবে পড়িয়া একই পথে প্রতিফলিত হইতেছে। অনুরূপভাবে, অন্য দুইটি রশ্মি SO_1 এবং SO_2 যথাক্রমে O_1B_1 ও O_2B_2 পথে প্রতিফলিত হইতেছে। দুই আপতন বিন্দু (O_1, O_2) হইতে O_1C_1 এবং O_2C_2 যথাক্রমে লম্ব। এখন B_1O_1 এবং B_2O_2-কে পিছনের দিকে বর্ধিত করিলে উহারা S' বিন্দুতে মিলিত হইবে। ফলে B_1 ও B_2-এর সম্মুখে চোখের অবস্থান আনিলে মনে হইবে যেন আলোক S' বিন্দু হইতে আসিতেছে। S হইতে লম্বভাবে পতিত SO রশ্মির প্রতিফলিত রশ্মি OS-কে পশ্চাতে বর্ধিত করিলে দেখা যাইবে যে, বর্ধিত SO রেখাও S' বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। এইভাবে S হইতে যে-কোন রশ্মির প্রতিফলিত রশ্মিকে পশ্চাতে বর্ধিত করিলে উহা S' বিন্দুতে মিলিত হইবে। ফলে S' বিন্দুই হইবে S-এর প্রতিবিম্ব।



চিত্র 2.5

এখন চিত্র হইতে $\angle OSO_1 = \angle SO_1C_1 = \angle C_1O_1B_1 = \angle OS'O_1$; কারণ প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী, $i=r$ এবং O_1C_1 ও SOS' পরস্পর সমান্তরাল।

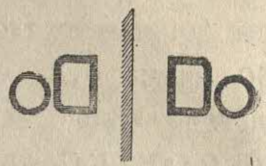
$\therefore$ SOO_1 এবং $S'OO_1$ ত্রিভুজদ্বয় হইতে,

$\angle OSO_1 = \angle OS'O_1$, $\angle SOO_1 = \angle S'OO_1 = 90°$, এবং OO_1 সাধারণ বাহু।

$\therefore$ **ত্রিভুজ দুইটি সর্বসম। সুতরাং SO=S'O, অর্থাৎ, লক্ষ্যবস্তু (S) আয়নার যতটা সম্মুখে অবস্থিত, ইহার প্রতিবিম্ব (S') আয়নার ততটা পিছনে সৃষ্ট হইবে।** এইরূপ প্রতিবিম্বের অবশ্য কোন বাস্তব অস্তিত্ব থাকে না। কেননা, আয়নার পিছনে গিয়া আমরা প্রতিবিম্বকে খুঁজিয়া পাই না। সেইজন্য, এইরূপ প্রতিবিম্বকে অসদ্‌বিম্ব (virtual image) বলে। উৎস হইতে অপসারী আলোকরশ্মি প্রতিফলনের পর অসদ্‌বিম্ব হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়।

আয়নার সম্মুখে কোন বিস্তৃত বস্তু (extended object) রাখিলে বস্তুটিকে অসংখ্য বিন্দুর সমষ্টি বলিয়া মনে করা যাইতে পারে। ফলে প্রত্যেক বিন্দুই আয়নার পিছনে অসদ্‌বিম্ব সৃষ্টি করিবে এবং উহাদের সমন্বয়ে সমগ্র

বস্তুটির অসদ্‌বিম্ব গঠিত হইবে। এই প্রতিবিম্ব বস্তুর সমান হইবে। আবার বস্তুটির প্রতিটি বিন্দুর প্রতিবিম্ব আয়নার পশ্চাতে সেই বিন্দু হইতে অঙ্কিত অভিলম্বের উপর সমদূরে গঠিত হয়। ফলে, বস্তুটির **পার্শ্বীয় পরিবর্তন** (Lateral inversion) ঘটে। ইহার ফলেই আয়নার সম্মুখে দাঁড়াইলে আমাদের ডান হাত প্রতিবিম্বের বাম হাত বলিয়া মনে হয়। আয়নার সামনে কাগজে লেখা কোন শব্দ ধরিলে আমরা একই কারণে শব্দটির উল্টো প্রতিবিম্ব দেখিয়া থাকি (চিত্র 2.6)।



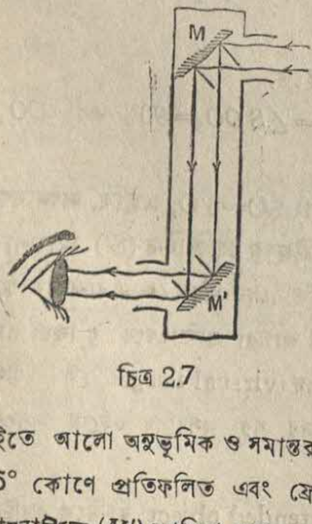
চিত্র 2.6

2.4. সমতল দর্পণের ব্যবহারিক প্রয়োগ :

পেরিস্কোপ (Periscope) :

ইহা একটি যন্ত্রবিশেষ। ইহাতে দুইটি সমতল ও সমান্তরাল দর্পণে প্রতিফলনের নীতির ব্যবহারিক প্রয়োগ ঘটে। অনেক সময় কোন বস্তুকে সোজাসুজি দেখিতে না পাইলে, ইহাকে দেখিবার জন্য এই যন্ত্রের সাহায্য লওয়া হয়।

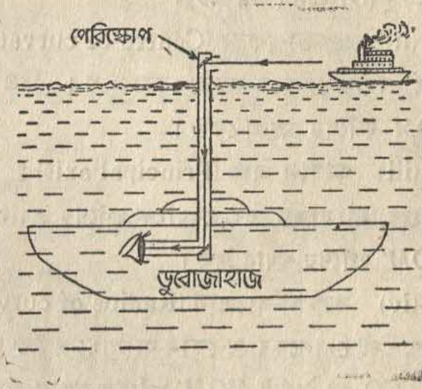
দুইটি মসৃণ তলের আয়না M ও M' (চিত্র 2.7) সমান্তরালভাবে একটি লম্বা কাঠের ফ্রেমে বা ধাতব নলে এমনভাবে আটকানো থাকে, যাহাতে আয়না দুইটিকে সব সময় সমান্তরাল রাখিয়া এদিক-ওদিক ঘুরানো যায়। দূরের কোন বস্তুকে দেখিতে হইলে, আয়না দুটিকে কাঠের ফ্রেমের সহিত 45° কোণ করিয়া রাখা হয় (চিত্র 2.7)। এই অবস্থায় ফ্রেমটিকে সোজাভাবে দাঁড় করাইয়া উপরের আয়নাটিকে (M) দূরের বস্তুর দিকে ঘুরাইয়া নীচের আয়নায় (M') চোখ রাখিলে ঐ বস্তুটি দেখা যাইবে। দূরের বস্তুটি হইতে আলো অনুভূমিক ও সমান্তরালভাবে আসিয়া উপরের আয়নাটিতে (M) 45° কোণে প্রতিফলিত এবং ফ্রেমের অক্ষবরাবর সমান্তরালভাবে নীচের আয়নাটিতে (M') আসিয়া পড়ে। একই নিয়মে নীচের আয়না হইতেও আলো প্রতিফলিত হইয়া অনুভূমিকভাবে দর্শকের চোখে পৌঁছে। ফলে, উপরের



চিত্র 2.7

আয়নাতে দৃষ্ট বস্তুটির প্রতিবিম্ব নীচের আয়নাটিতে প্রতিফলিত হইয়া দর্শকের চোখে পড়ে।

খেলার মাঠে দর্শকেরা মাঠের বাইরে থাকিয়াও, এই যন্ত্রের সাহায্যে খেলা দেখিতে পান। তাছাড়া, যুদ্ধের সময় পরিখার ভিতর হইতে বিপক্ষ সৈন্যদের গতিবিধি পেরিস্কোপের সাহায্যে লক্ষ্য করা যায়। ডুবো-জাহাজে (চিত্র 2.8) সম্পূর্ণরূপে জলের তলায় থাকিয়া পেরিস্কোপের উপরের আয়নাটি সামান্য জল হইতে তুলিয়া শত্রু-পক্ষের জাহাজের গতি-বিধি দেখা যায়। ভাল প্রতিফলনের পেরিস্কোপ-যন্ত্রে আয়নার পরিবর্তে প্রিজম ব্যবহৃত হয়।

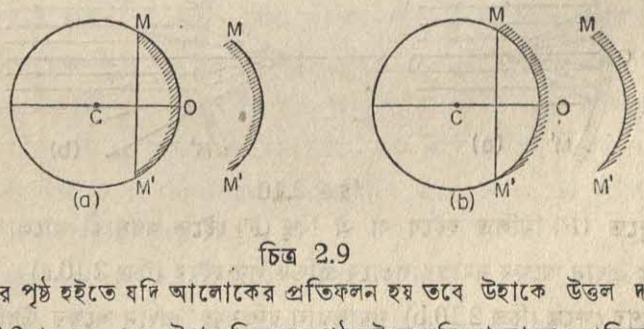


চিত্র 2.8

2.5. গোলীয় তলে আলোকের প্রতিফলন (Reflection of light at spherical surfaces) :

কোন গোলকের বাহিরের বা ভিতরের কোন অংশ যদি মসৃণ হয়, তবে উহা হইতে আলোকের প্রতিফলন হইবে। সমতল দর্পণে প্রতিফলনের নিয়মাবলী গোলতল দর্পণের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য।

গোলীয় দর্পণ দুই প্রকারের হইতে পারে। যথা—(i) **উত্তল দর্পণ** (convex mirror) এবং **অবতল দর্পণ** (concave mirror)। গোলীয় দর্পণের



চিত্র 2.9

বাইরের পৃষ্ঠ হইতে যদি আলোকের প্রতিফলন হয় তবে উহাকে উত্তল দর্পণ (চিত্র 2.9a) বলে এবং উহার ভিতরের পৃষ্ঠ হইতে যদি আলোকের প্রতিফলন হয় তবে উহাকে অবতল দর্পণ (চিত্র 2.9b) বলে।

2.5a. গোলীয় দর্পণ-সংক্রান্ত কয়েকটি সংজ্ঞা (Some definitions relating spherical mirror) :

(i) **মধ্যবিন্দু** (Pole) : প্রতিফলকের তলের মধ্যবিন্দুকে দর্পণের মধ্যবিন্দু (O) বলে (চিত্র 2.9)।

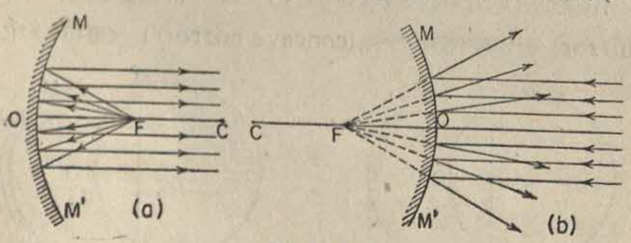
(ii) **বক্রতা-কেন্দ্র** (Centre of curvature) : দর্পণটি যে গোলকের অংশ তাহার কেন্দ্রকে বক্রতা-কেন্দ্র বলে। চিত্র 2.9 (a) ও (b)-তে C বিন্দু MOM' দর্পণের বক্রতা-কেন্দ্র।

(iii) **প্রধান অক্ষ** (Principal axis) : দর্পণের মধ্যবিন্দু ও বক্রতা-কেন্দ্রের সংযোজক সরলরেখাকে দর্পণের প্রধান অক্ষ বলে। OC সরলরেখা MOM' দর্পণের প্রধান অক্ষ।

(iv) **বক্রতা-ব্যাসার্ধ** (Radius of curvature) : দর্পণ যে গোলকের অংশ, সেই গোলকের যে-কোন ব্যাসার্ধকে উক্ত দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ বলে। চিত্রে CO-এর দৈর্ঘ্যই MOM' দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ।

(v) **উন্মেষ** (Aperture) : গোলীয় দর্পণ উহার বক্রতাকেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে, তাহাকে ইহার উন্মেষ বলে। চিত্রে MCM' কোণকে দর্পণের উন্মেষ ধরা হয়। গোলীয় দর্পণের আলোচনায় সব সময় ছোট উন্মেষ-যুক্ত (অনধিক 10°) দর্পণ লওয়া হয়।

(vi) **মুখ্য ফোকাস** (Principal Focus) : প্রধান অক্ষের সমান্তরাল ভাবে আগত একগুচ্ছ আলোকরশ্মি গোলীয় দর্পণ হইতে প্রতিফলিত হইলে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি অবতল দর্পণের ক্ষেত্রে প্রধান অক্ষের উপরিস্থিত একটি



চিত্র 2.10

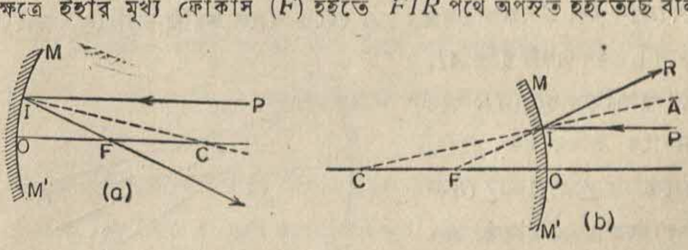
বিন্দুতে (F) মিলিত হইবে বা ঐ বিন্দু (F) হইতে অপসারী আলোকরশ্মি-সমূহ প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে প্রতিফলিত হইবে (চিত্র 2.10.a)। উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রে (চিত্র 2.10.b) সমান্তরাল রশ্মিসমূহ প্রধান অক্ষের উপরিস্থিত একটি বিন্দু (F) হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া প্রতীয়মান হইবে। উক্ত (F) বিন্দুকে উভয় ক্ষেত্রেই দর্পণের মুখ্য ফোকাস বলে।

(vii) **ফোকাস-দূরত্ব** (Focal length) : দর্পণের মধ্যবিন্দু (O) হইতে ফোকাস-বিন্দু (F) পর্যন্ত দূরত্বকে (অর্থাৎ OF-কে) দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব বলে।

(viii) **ফোকাস-তল ও গৌণ ফোকাস** (Focal plane and secondary focus) : গোলীয় দর্পণের ফোকাস-বিন্দুর মধ্য দিয়া উহার প্রধান অক্ষের সহিত লম্বভাবে কোন তল কল্পনা করিলে, উহাকে গোলীয় দর্পণের ফোকাস-তল বলে। ফোকাস-তলের উপরিস্থিত মুখ্য ফোকাস ব্যতিরেকে অন্য যে-কোন বিন্দুকে গৌণ ফোকাস বলে।

2.5b. গোলীয় দর্পণের ফোকাস-দূরত্ব ও বক্রতা-ব্যাসার্ধের মধ্যে সম্পর্ক (Relation between the focal length and the radius of curvature of a spherical mirror) :

তোমরা জান, প্রধান অক্ষের সমান্তরাল কোন আলোকরশ্মি PI কোন গোলীয় দর্পণে আপতিত হইলে প্রতিফলিত রশ্মি অবতল দর্পণের ক্ষেত্রে মুখ্য ফোকাসের (F) মধ্য দিয়া IF পথে যাইবে (চিত্র 2.11.a) এবং উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রে ইহার মুখ্য ফোকাস (F) হইতে FIR পথে অপসৃত হইতেছে বলিয়া



চিত্র 2.11

মনে হইবে (চিত্র 2.11.b)। চিত্রে আলোকরশ্মি PI একটি (a) অবতল ও একটি (b) উত্তল দর্পণে প্রধান অক্ষের সহিত সমান্তরালভাবে আপতিত হইয়া যথাক্রমে (a) IF এবং (b) বর্ধিত FI বা IR পথে প্রতিফলিত হইয়াছে। F ইহাদের মুখ্য ফোকাস। বক্রতা-কেন্দ্র C এবং আপতন বিন্দু I যোগ করা হইল এবং দ্বিতীয়ক্ষেত্রে (b) CI-কে A পর্যন্ত বর্ধিত করা হইল। CI হইল I বিন্দুতে দর্পণদ্বয়ের উপর লম্ব।

অতএব প্রতিফলনের নিয়মে (a) $\angle PIC = \angle CIF$

বা (b) $\angle PIA = \angle AIR$

আবার PI ও CO সমান্তরাল এবং (a) CI বা (b) CIA ইহাদের ছেদ করিয়াছে।

অতএব, (a) $\angle PIC = \angle ICO$, এবং (b) $\angle PIA = \angle ICO$

সুতরাং (a) $\angle CIF = \angle ICO$

এবং (b) $\angle AIR = \angle CIF$ (বিপ্রতীপ কোণ) $= \angle ICO$

অতএব, উভয় ক্ষেত্রেই $IF = FC$

দর্পণের উন্মেষ খুব ছোট হওয়ায় I ও O বিন্দুদ্বয় খুব কাছাকাছি ; ফলে IF এবং OF-কে সমান ধরা যাইতে পারে। অতএব, $OF = FC$ বা $OF = \frac{1}{2}CO$

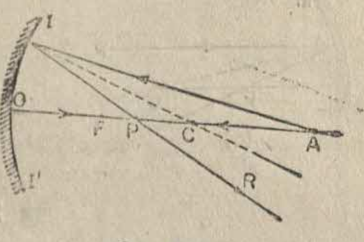
এখন CO = বক্রতা ব্যাসার্ধ $= r$

এবং OF = ফোকাস দূরত্ব $= f$ হইলে

$$\therefore \quad f = \frac{r}{2}$$

2.6. গোলীয় দর্পণ হইতে বস্তুর দূরত্ব, প্রতিবিম্বের দূরত্ব ও ফোকাস দূরত্বের মধ্যে সম্পর্ক (Relation between object distance, image distance and focal length of a spherical mirror) :

(A) **অবতল দর্পণ :** A একটি আলোক বিন্দু IOI' অবতল দর্পণের সম্মুখে প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত (চিত্র 2.12)। O দর্পণের মধ্যবিন্দু, F ফোকাস এবং C বক্রতা-কেন্দ্র। A হইতে আলোকরশ্মি চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়িবে। এরূপ একটি রশ্মি AI, দর্পণে আপতিত হইয়া IR পথে এমনভাবে প্রতিফলিত হইবে, যাহাতে $\angle AIC = \angle CIP$ $(i = r)$ হয়। A হইতে অন্য একটি রশ্মি AO প্রধান অক্ষ বরাবর দর্পণে আপতিত হইয়া



চিত্র 2.12

OA পথেই প্রতিফলিত হইয়া আসিবে (কারণ AO দর্পণের উপর লম্ব)। এই দুই প্রতিফলিত রশ্মি P বিন্দুতে মিলিত হইল। অতএব, এই P বিন্দুই A-এর প্রতিবিম্ব এবং প্রকৃতিতে ইহা **সদ্‌বিম্ব** (real image), কারণ ইহা প্রতিফলিত রশ্মিগুলির মিলনে দর্পণের সামনে গঠিত হয় এবং ইহাকে পর্দায় ফেলা যায়।

এখন গোলীয় দর্পণে যে কোন দূরত্বের চিহ্নের প্রথা (convention of sign) হইল দর্পণের মধ্যবিন্দু হইতে বস্তুর বা প্রতিবিম্বের অবস্থানের দিক যদি আপতিত রশ্মির বিপরীত দিকে হয়, তবে উহার দূরত্বকে ধনাত্মক ধরা হইবে ; আর যদি আপতিত রশ্মির দিকে হয়, তবে ঐ দূরত্বকে ঋণাত্মক ধরা হইবে।

এই প্রথানুসারে (2.12) চিত্রে ফোকাস দূরত্ব $=OF=+f$, বক্রতা-ব্যাসার্ধ $=OC=+r$, প্রতিবিম্ব দূরত্ব $=OP=+v$ এবং বস্তুর দূরত্ব $=OA=+u$ ধরিয়া ইহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ নিম্নরূপে নির্ণয় করা যায়।

AIP ত্রিভুজের $\angle AIP$, IC রেখা দ্বারা সমদ্বিখণ্ডিত হইয়াছে, কারণ $\angle AIC=\angle CIP$, অতএব জ্যামিতিক নিয়মে,

$$\frac{IP}{AI}=\frac{PC}{CA}$$; দর্পণের উন্মেষ খুব ছোট ধরিলে,

$IA \simeq OA$ এবং $IP \simeq OP$

অতএব $$\frac{OP}{OA}=\frac{PC}{CA}=\frac{OC-OP}{OA-OC}$$

বা, $$\frac{+v}{+u}=\frac{+r-v}{+u-r}$$

বা $u(r-v)=v(u-r)$

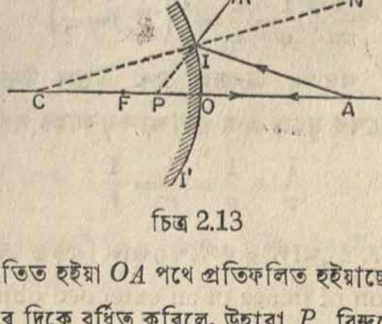
বা $ur+vr=2uv$

উভয় পক্ষকেই uvr দ্বারা ভাগ করিলে,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{2}{r}=\frac{1}{f}\left(\because \quad f=\frac{r}{2}\right)$$

যদি $u=\propto$ (অসীম দূরত্ব) হয়; তবে এই সমীকরণ হইতে, $\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$ বা $v=f$, অর্থাৎ বিন্দুটি অসীম দূরত্বে থাকিলে ইহার প্রতিবিম্ব ফোকাস বিন্দুতে গঠিত হইবে।

(B) **উত্তল দর্পণ :** IOI' উত্তল দর্পণের সম্মুখে (চিত্র 2.13) ইহার প্রধান অক্ষের উপর A একটি আলোকবিন্দু। C, F ও O যথাক্রমে দর্পণের বক্রতাকেন্দ্র, ফোকাস ও মধ্য-বিন্দু। অবতল দর্পণের মতই এক্ষেত্রেও একটি আলোকরশ্মি, AI দর্পণে আপতিত হইয়া IR পথে এমন ভাবে প্রতিফলিত হইয়াছে, যাহাতে $\angle AIN=\angle RIN$। অন্য একটি রশ্মি



চিত্র 2.13

AO দর্পণের উপর লম্বভাবে আপতিত হইয়া OA পথে প্রতিফলিত হইয়াছে। এই দুই প্রতিফলিত রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করিলে, উহারা P বিন্দুতে মিলিত হয়। এই P বিন্দুই A-এর প্রতিবিম্ব এবং প্রকৃতিতে ইহা **অসদ্‌বিম্ব**

(virtual image), কারণ দর্পণের পিছনের এই বিন্দু হইতেই আলোক প্রতিসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হয়। ফলে, ইহাকে চোখে দেখা গেলেও কখনো পর্দাতে ফেলা যাইবে না।

এখন গোলীয় দর্পণের চিহ্নের প্রথানুসারে, এক্ষেত্রে (চিত্র 2.13) বক্রতা ব্যাসার্ধ$=OC=-r$, ফোকাস-দূরত্ব$=OF=-f$, প্রতিবিম্বের দূরত্ব$=OP=-v$ এবং বস্তুর দূরত্ব$=OA=+u$।

এখন, জ্যামিতির নিয়মে, CIN রেখা AIP ত্রিভুজের $\angle AIP$-এর বহিঃকোণকে সমদ্বিখণ্ডিত করিয়াছে ($\because\ \angle RIN=\angle AIN$ বা $i=r$) এবং ভূমি AP-কে C বিন্দুতে এমনভাবে AC ও PC অংশে বহির্দ্বিখণ্ডিত করিয়াছে যাহাতে,

$$\frac{IP}{IA}=\frac{PC}{AC} \text{ হয়।}$$

দর্পণের উন্মেষ খুব ছোট ধরিলে, $IA=OA$ এবং $IP=OP$।

$$\therefore\quad \frac{OP}{OA}=\frac{PC}{AC}=\frac{OC-OP}{OC+OA}$$

$$\text{বা}\quad \frac{-v}{+u}=\frac{-r+v}{-r+u}$$

$$\text{বা}\quad \frac{v}{u}=\frac{r-v}{u-r}$$

বা $u(r-v)=v(u-r)$

বা $ur+vr=2uv$

উভয় পক্ষকেই uvr দ্বারা ভাগ করিলে,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{2}{r}=\frac{1}{f}\left(\because\ f=\frac{r}{2}\right)$$

অতএব, **অবতল এবং উত্তল উভয় দর্পণেই বস্তুর দূরত্ব, প্রতিবিম্বের দূরত্ব এবং ফোকাস-দূরত্বের মধ্যকার সম্বন্ধ হইল :**

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{2}{r}=\frac{1}{f}$$

2.7. গোলীয় দর্পণে কোন বিস্তৃত বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন : (Formation of image of an extended object by spherical mirrors) :

গোলীয় দর্পণের সম্মুখে কোন বিস্তৃত বস্তু রাখিলে, বস্তুটিকে কতকগুলি বিন্দুর সমষ্টি বলিয়া গণ্য করা যাইতে পারে। অতএব প্রতিটি বিন্দুর প্রতি-

বিম্বের সমষ্টিই হইবে বস্তুটির প্রতিবিম্ব। বস্তুর যে-কোন বিন্দুর প্রতিবিম্ব গঠন করিতে হইলে, নিম্নলিখিত তিনটি রশ্মির যে-কোন দুইটির সাহায্য লইলেই চলিবে:

যথা—(i) প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে আপতিত কোন রশ্মি প্রতিফলিত হইয়া ফোকাস বিন্দুর মধ্য দিয়া যাইবে।

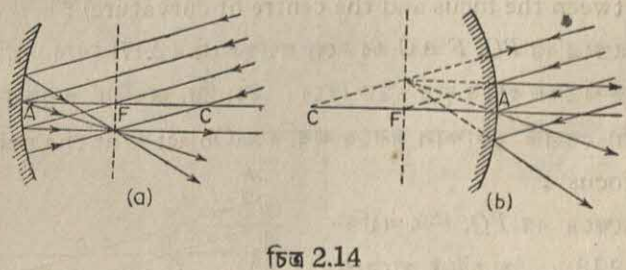
(ii) ফোকাস বিন্দুর মধ্য দিয়া আপতিত কোন রশ্মি প্রতিফলিত হইয়া প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে চলিয়া যাইবে।

(iii) বক্রতা কেন্দ্রের মধ্য দিয়া আপতিত কোন রশ্মি প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় ঐ পথেই প্রত্যাবর্তন করিবে।

বিস্তৃত বস্তুর অবস্থানের উপর অবশ্য ইহার প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি (সদ্ বা অসদ্) ও মাপ (সমান, বৃহত্তর বা ক্ষুদ্রতর) নির্ভর করে। এই পরিপ্রেক্ষিতে বস্তুর অবস্থানের তারতম্যে অবতল বা উত্তল দর্পণে প্রতিবিম্বের অবস্থা কি হয়, তাহার কয়েকটি উদাহরণ রশ্মিচিত্রের সাহায্যে দেখানো হইল।

(1) **বস্তু অসীম দূরত্বে** (Object is at infinity):

বস্তুটি বহুদূরে অবস্থিত বলিয়া ইহা হইতে আলোকরশ্মি প্রায় সমান্তরাল ভাবে দর্পণে পড়িবে। বস্তুর একপ্রান্তের আলোকরশ্মিগুলি প্রধান অক্ষের

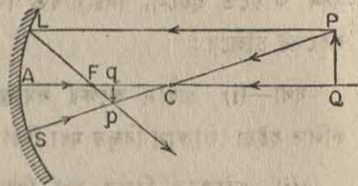


চিত্র 2.14

সমান্তরাল হইলে, অন্যপ্রান্তের রশ্মিগুলি প্রধান অক্ষের সহিত কিছুটা আনতভাবে দর্পণে পড়িবে। ফলে চিত্র (2.14) অনুযায়ী প্রতিবিম্ব ফোকাস-তলে গঠিত হইবে। (a) অবতল দর্পণে এই প্রতিবিম্ব **সদ্, অবশীর্ষ** (inverted) ও **ক্ষুদ্র** এবং (b) উত্তল দর্পণে ইহা **অসদ্, সমশীর্ষ** (erect) ও **ক্ষুদ্র** হইবে।

(2) **বস্তুটি অসীম দূরত্ব ও বক্রতা-কেন্দ্রের মধ্যে অবস্থিত** (Object is between infinity and centre of curvature) :

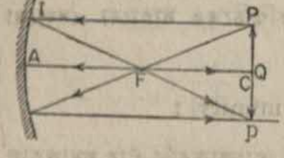
বস্তু PQ দর্পণের বক্রতাকেন্দ্র C হইতে কিছুদূরে অবস্থিত (চিত্র 2.15) চিত্র হইতে বুঝা যায় যে, ইহার প্রতিবিম্ব (pq) F ও C-এর মধ্যে এবং ইহা সদ্, অবশীর্ষ ও ক্ষুদ্র হইবে।



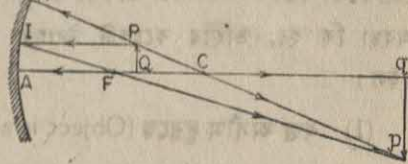
চিত্র 2.15

(3) **বস্তুটি বক্রতা কেন্দ্রে অবস্থিত** (Object is at the centre of curvature) :

বস্তু PQ, C-তে অবস্থিত। এ ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব pQ, C-তে গঠিত হইবে (চিত্র 2.16) এবং ইহা সদ্, অবশীর্ষ ও সমান হইবে।



চিত্র 2.16



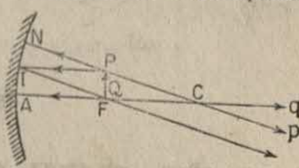
চিত্র 2.17

(4) **বস্তুটি ফোকাস ও বক্রতা কেন্দ্রের মধ্যে অবস্থিত** (Object is between the focus and the centre of curvature) :

এক্ষেত্রে বস্তু PQ, F ও C-এর মধ্যে অবস্থিত (চিত্র 2.17) ইহার প্রতিবিম্ব pq বক্রতা কেন্দ্র হইতে দূরে গঠিত হইবে। ইহা সদ্, অবশীর্ষ ও বৃহত্তর।

(5) **বস্তুটি ফোকাস দূরত্বে অবস্থিত** (Object is at the principal focus) :

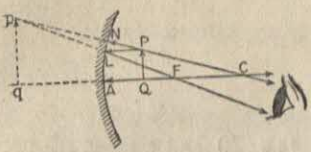
এক্ষেত্রে বস্তু PQ, F-এ অবস্থিত (চিত্র 2.18)। ইহা হইতে আলোকরশ্মি দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া সমান্তরাল রশ্মিরূপে অসীমে প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। ফলে ইহা আকারে অতিশয় বৃহৎ হইবে।



চিত্র 2.18

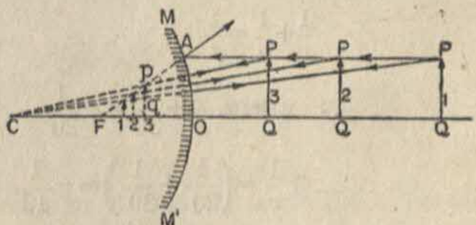
(6) **বস্তুটি ফোকাস দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত** (Object is within the focal length) :

এক্ষেত্রে বস্তু PQ ফোকাস দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত (চিত্র 2.19)। বস্তু হইতে আলোকরশ্মি দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া দর্পণের সম্মুখদিকে অপসারী রশ্মিরূপে প্রতিফলিত হইবে এবং ইহাদের পশ্চাতের দিকে বর্ধিত করিলে আলোকরশ্মিসমূহ pq হইতে প্রতিসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে। ফলে pq-ই বস্তুর প্রতিবিম্ব। ইহা **অসদ্**, আকারে **বৃহত্তর** ও প্রকৃতিতে **সমশীর্ষ**।



চিত্র 2.19

উপরি-উক্ত উদাহরণগুলির (2—6) ক্ষেত্রে **উত্তল দর্পণে** প্রতিবিম্বের অবস্থা নিচের চিত্রে (চিত্র 2.20) দেখানো হইল। বস্তু PQ-এর তিনটি অবস্থানে (1—3) বস্তুটিকে অসীম হইতে ক্রমশ দর্পণের নিকটবর্তী করা হইয়াছে এবং দেখা যাইতেছে যে, প্রতিবিম্বগুলি ক্রমশ ফোকাস বিন্দু হইতে দর্পণের মধ্যবিন্দুর দিকে আগাইয়া আসিতেছে। ফলে, ইহারা ক্রমশ ক্ষুদ্র হইতে বৃহৎ হইবে কিন্তু সবসময়ই বস্তু অপেক্ষা **ক্ষুদ্রতর** থাকিবে। ইহাছাড়া ইহারা সব সময় **অসদ্ ও সমশীর্ষ** প্রকৃতির হইবে।



চিত্র 2.20

2.8 রৈখিক বিবর্ধন (Linear magnification) :

আমরা উপরি-উক্ত আলোচনায় দেখিলাম যে, লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব (u)-এর উপর প্রতিবিম্বের অবস্থান (v) এবং দৈর্ঘ্য নির্ভর করে। রৈখিক বিবর্ধন বলিতে আমরা বুঝি প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য লক্ষ্যবস্তু অপেক্ষা কতগুণ। অর্থাৎ,

$$\text{রৈখিক বিবর্ধন } (m) = \frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য}}{\text{লক্ষ্যবস্তুর দৈর্ঘ্য}} = \frac{pq}{PQ}$$

চিত্র (2.15) হইতে $\triangle PCQ$-এর $\triangle pCq$-এর সাহায্যে লেখা যায়,

$$\frac{pq}{PQ} = \frac{Cq}{CQ} = \frac{AC - Aq}{AQ - AC} = \frac{r - v}{u - r}$$

এখন গোলীয় দর্পণের সমীকরণ হইতে,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r} \text{ বা } \frac{1}{v} - \frac{1}{r} = \frac{1}{r} - \frac{1}{u}$$

বা $\frac{r-v}{v.r}=\frac{u-r}{u.r}$ বা $\frac{r-v}{u-r}=\frac{v.r}{u.r}=\frac{v}{u}$

∴ রৈখিক বিবর্ধন $(m)=\frac{pq}{PQ}=\frac{v}{u}$

উদাহরণ (Examples) :

(1) একটি উত্তল দর্পণের ফোকাস দূরত্ব 20 সে.মি.। একটি বস্তুকে ইহার সম্মুখে 30 সে.মি. দূরে রাখা হইল। ইহার প্রতিবিম্বের অবস্থান, রৈখিক বিবর্ধন ও প্রকৃতি নির্ণয় কর।

উত্তর : এখানে বস্তুর দূরত্ব $u=+30$ সে.মি.

দর্পণের ফোকাস দূরত্ব, $f=-20$ সে.মি.

এখন আমরা জানি,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

∴ এক্ষেত্রে, $\frac{1}{v}+\frac{1}{30}=-\frac{1}{20}$

বা $\frac{1}{v}=\left(\frac{1}{20}+\frac{1}{30}\right)=-\frac{1}{12}$

∴ প্রতিবিম্বের দূরত্ব, $v=-12$ **সে.মি.**

ইহার রৈখিক বিবর্ধন, $m=\frac{v}{u}=\frac{12}{30}=\frac{3}{5}$

অতএব, বস্তুটির প্রতিবিম্ব উত্তল দর্পণের পশ্চাতে 12 সে.মি. দূরে গঠিত হইবে এবং সেজন্য ইহা প্রকৃতিতে অসদ্ হইবে। ইহার রৈখিক বিবর্ধন হইবে $\frac{3}{5}$ অর্থাৎ প্রতিবিম্বের সাইজ বস্তুটির সাইজের $\frac{3}{5}$ অংশ হইবে।

(2) একটি বস্তু একটি দর্পণ হইতে 30 সে.মি. দূরে অবস্থিত। ইহার একটি অসদ্ প্রতিবিম্ব দর্পণ হইতে 10 সে.মি. দূরে গঠিত হয়। দর্পণটির ফোকাস-দূরত্ব ও প্রকৃতি নির্ণয় কর।

উত্তর : এখানে $u=30$ সে.মি.

$v=-10$ সে.মি. (কারণ প্রতিবিম্ব অসদ্)

∴ $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

বা, $-\frac{1}{10}+\frac{1}{30}=\frac{1}{f}$

বা, $\frac{1}{f}=-\frac{1}{15}$ বা $f=-15$.

∴ অতএব **দর্পণটি একটি উত্তল দর্পণ এবং ইহার ফোকাস দূরত্ব 15 সে.মি.।**

2.9. গোলীয় দর্পণের ব্যবহার (Use of spherical mirrors) **:**

গোলীয় দর্পণের একাধিক ব্যবহারিক প্রয়োগ রহিয়াছে। ইহাদের মধ্যে অবতল দর্পণের প্রয়োগ তোমরা টর্চলাইট, সার্চলাইট বা গাড়ীর হেডলাইটে দেখিয়াছ। এইসব ক্ষেত্রে আলো দর্পণের ফোকাসের মধ্যে থাকে। মোটর-গাড়ীর চালকের সামনে একটি উত্তল দর্পণ থাকে। ইহার সাহায্যে চালক দূরের গাড়ীগুলির ছোট প্রতিবিম্ব দর্পণে দেখিতে পায়। অনেক সময় সেলুনে অবতল দর্পণ ব্যবহৃত হয়। ইহাতে মুখমণ্ডলের বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়।

প্রশ্নাবলী

1. আলোকের প্রতিফলন বলিতে কি বোঝায়? প্রমাণসহ ইহার সূত্রগুলি লিখ।

[What do you mean by the reflection of light ? State the laws of reflection and verify them experimentally.]

2. প্রতিবিম্ব কি? কোন্ সমতল দর্পণের সম্মুখে কোন বিন্দুর প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি কিরূপ হয় দেখাও। সমতল দর্পণে কোন বিস্তৃত বস্তুর উল্টো প্রতিবিম্ব পড়ে কেন?

[What is an image? Define the position and nature of the image of a point object placed in front of a plane mirror. Why an inverted image of an extended object is formed in a plane mirror ?]

3. একটি সরল পেরিস্কোপের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। ইহা কি কাজে ব্যবহৃত হয়?

[Describe a simple periscope and explain its principle of action. Also state its uses.]

4. গোলীয় দর্পণ বলিতে কি বোঝায়? ইহা কয় প্রকারের? গোলীয় দর্পণে নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা লিখ :—

(i) ফোকাস, (ii) ফোকাস দৈর্ঘ্য, (iii) বক্রতা-কেন্দ্র, (iv) বক্রতা-ব্যাসার্ধ, (v) প্রধান অক্ষ, (vi) উন্মেষ।

[What is a spherical mirror ? What are the different kinds of spherical mirror ? Define the following terms as applied to spherical mirror :

(i) Focus, (ii) Focal length, (iii) Centre of curvature, (iv) Radius of curvature, (v) Principal axis, (vi) Aperture.

5. গোলীয় দর্পণের ক্ষেত্রে প্রমাণ কর যে,

(i) $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}=\frac{2}{r}$

(ii) $m=\frac{v}{u}$

(a) 15 সে.মি. দীর্ঘ একটি বস্তু একটি অবতল দর্পণের সম্মুখে 30 সে.মি. দূরে আছে। দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ 20 সে.মি. হইলে বস্তুটির প্রতিবিম্বের বিবর্ধন কত হইবে ?

(b) কোন উত্তল দর্পণে সৃষ্ট প্রতিবিম্বের আকার বস্তুর এক-তৃতীয়াংশ। দর্পণের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 30 সে.মি. হইলে প্রতিবিম্বের অবস্থান কোথায় হইবে ?

[Prove, in the case of spherical mirror,

(i) $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}=\frac{2}{r}$

(ii) $m=\frac{v}{u}$

(a) An object 30 cm. in length is standing in front of a concave mirror. If the radius of curvature of the mirror is 20 cm., what will be the linear magnification of the image ?

[A : m = 0·5]

(b) The image formed by a convex mirror is only one-third the size of the object. If the focal length of the mirror is 30 cm, where the image will be formed ?]

[Ans. v = 20 cms.]

6. গোলীয় দর্পণে নিম্নরূপ প্রতিবিম্ব পাইতে গেলে কি ধরনের দর্পণ ব্যবহার করিতে হইবে এবং বস্তুকে কোথায় রাখিতে হইবে—ছবির সাহায্যে বোঝাও :

(i) সদ্‌ ও বিবর্ধিত, (ii) অসদ্‌ ও বিবর্ধিত, (iii) সদ্‌ ও ক্ষুদ্রতর, (iv) অসদ্‌ ও ক্ষুদ্রতর, (v) সদ্‌ ও সমান, (vi) অসদ্‌ ও সমান।

[Explain with the help of ray-diagrams what kind of spherical mirrors are to be used and where the objects are to be placed, in order to obtain the following types of images :

(i) real and magnified, (ii) virtual and magnified, (iii) real and diminished, (iv) virtual and diminished, (v) real and equal, (vi) virtual and equal.

7. প্রতিবিম্ব কয় প্রকারের? কোন্ অবস্থায় কোন্ দর্পণে কিরূপ প্রতিবিম্ব পাওয়া যায় ছবির সাহায্যে দেখাও।

গোলীয় দর্পণের দৈনন্দিন ব্যবহারের কয়েকটি উদাহরণ দাও এবং ইহাদের ব্যাখ্যা কর।

[What are the different kinds of images? Show with the help of ray-diagram how they are obtained with the help of spherical mirrors for different positions of the object?

Mention and justify the different uses of spherical mirrors in our day-to-day life.]

8. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির বিজ্ঞান-সম্মত উত্তর দাও :—

(i) সদ্ ও অসদ্ প্রতিবিম্বে পার্থক্য কি?

(ii) মোটরগাড়ীর চালকের সম্মুখে উত্তল দর্পণ ব্যবহৃত হয় কেন?

(iii) সেলুনে অবতল দর্পণ ব্যবহৃত হয় কেন?

(iv) সমতল দর্পণে বস্তুর পার্শ্বীয় পরিবর্তন হয় কেন?

(v) খেলার মাঠে পেরিস্কোপ ব্যবহারে কি সুবিধা পাওয়া যায়?

(vi) অবতল দর্পণে কখন্ অসদ্ প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়?

[Give the scientific explanations of the following :

(i) What is the difference between real and virtual images?

(ii) Why a convex mirror is used in front of the drivers of a motor car?

(iii) Why a concave mirror is used in a saloon?

(iv) What is the cause of lateral inversion of an object in a plane mirror?

(v) What advantage is obtained from the use of periscopes in the play-ground?

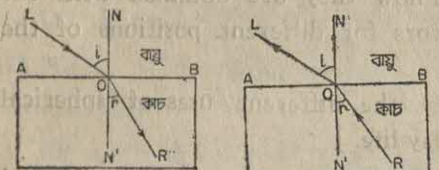
(vi) When a virtual image is obtained in a concave mirror?]

তৃতীয় অধ্যায়

আলোকের প্রতিসরণ (Refraction of light)

3.1 আলোকের প্রতিসরণ বলিতে কি বোঝায় ? (What is meant by refraction of light ?) :

আমরা পূর্বে আলোচনা করিয়াছি যে, স্বচ্ছ ও সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোক সরলরেখায় গমন করে এবং পথিমধ্যে মাধ্যমের পরিবর্তন ঘটিলে এই দ্বিতীয় মাধ্যমের বিভেদতলে আলোকের কিয়দংশ প্রতিফলিত হইয়া সরল রৈখিক পথেই প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। ইহাকে আলোকের প্রতিফলন (reflection) বলে। কিন্তু এই আলোকের কিয়দংশ আবার অন্য এক সরলরৈখিক পথে দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করে এবং দুই মাধ্যমের বিভেদতলে ইহার গতিপথের পরিবর্তন ঘটে। ইহাকে আলোর প্রতিসরণ (refraction) বলে।



চিত্র 3.1

ধরা যাক্, একটি আলোকরশ্মি বায়ুমাধ্যমে *LO* সরলরেখায় আসিয়া একটি কাচের ব্লকের উপর *O* বিন্দুতে তির্যকভাবে আপতিত হইল (চিত্র 3.1a)।

প্রতিসরণের দরুণ আলোকরশ্মি কাচের ভিতর প্রবেশ করিবে এবং দিক পরিবর্তন করিয়া *OR* পথে গমন করিবে। এস্থলে *LO* আপতিত রশ্মি (incident ray), *OR* প্রতিসৃত রশ্মি (refracted ray) এবং *O* আপতন বিন্দু (point of incidence)। আপতন বিন্দুতে মাধ্যমদ্বয়ের উপর অঙ্কিত লম্ব *NN'*-কে অভিলম্ব (normal) বলে। অভিলম্বের সহিত আপতিত রশ্মি দ্বারা উৎপন্ন কোণ ($\angle LON = i$)-কে আপতন কোণ (angle of incidence) এবং প্রতিসৃত রশ্মি দ্বারা উৎপন্ন কোণ ($\angle RON' = r$)-কে প্রতিসরণ কোণ (angle of refraction) বলে।

দেখা গিয়াছে, আলোক লঘু মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমে প্রতিসৃত হইলে প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায় অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা ছোট হয় (চিত্র 3.1a)। বিপরীতক্রমে, যদি আলোকরশ্মি

ঘন মাধ্যম হইতে লঘু মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় (চিত্র 3.1b), তবে প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায় অর্থাৎ তখন প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা বড় হয়।

3.2 প্রতিসরণের সূত্রাবলী (Laws of refraction) :

প্রতিফলনের ন্যায় প্রতিসরণেরও দুইটি নির্দিষ্ট সূত্র আছে :

(i) **আপতিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি ও অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থিত হইবে।**

(ii) **দুইটি নির্দিষ্ট মাধ্যমে একটি নির্দিষ্ট রঙের আলোকরশ্মির প্রতিসরণ হইলে সর্বদা আপতন কোণের সাইন** (sine) **ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত ধ্রুবক হয়।**

অর্থাৎ যদি আপতন কোণকে i এবং প্রতিসরণ কোণকে r বলা হয়, তবে প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী, $\frac{\sin i}{\sin r}=\mu$ (ধ্রুবক)। এই ধ্রুবক 'μ'-কে প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের (${}_1\mu_2$) **প্রতিসরাঙ্ক** (refractive index) বলে। বায়ু মাধ্যম হইতে কাচে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে ইহার মান 1·51 ; প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রকে ইহার আবিষ্কর্তা বিজ্ঞানী স্নেলের নামানুসারে **স্নেলের সূত্র** (Snell's law)-ও বলা হয়।

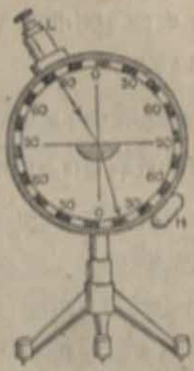
উপরিউক্ত সূত্র হইতে, $\sin i=\mu \sin r$, এখন $i=0$ হইলে $\sin 0°=\mu \sin r$ বা $\sin r=0$ বা $r=0°$ অর্থাৎ আলোকরশ্মি লম্বভাবে প্রথম মাধ্যম্ হইতে দ্বিতীয় মাধ্যমে আপতিত হইলে প্রতিসৃত রশ্মি দিক পরিবর্তন না করিয়া, সেই রেখা ধরিয়াই দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করিবে।

3.2a. প্রতিসরণের সূত্রদ্বয়ের পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Experimental verification of the laws of refraction) :

(i) **হার্টলের আলোকচক্র দ্বারা** (Hartle's optical disc) :

প্রতিফলনের ন্যায় প্রতিসরণের সূত্রদ্বয়েরও সত্যতা নিরূপণের জন্য হার্টলের আলোকচক্র (চিত্র 3.2) ব্যবহার করা যায়। আয়নার পরিবর্তে এক্ষেত্রে একটি পুরু কাচের প্লেটের একপার্শ্ব 90°—90° রেখার সহিত মিলাইয়া রাখা হয়। এই প্লেটটি অর্ধবৃত্তাকার হইলে (চিত্র 3.2) আলোকরশ্মি ইহার মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইবার সময় দিক পরিবর্তন করিবে, কিন্তু প্লেট হইতে

পুনরায় বাতাসে প্রতিসরণের সময় ইহার আর কোন দিক পরিবর্তন হইবে না। ফলে, আপতিত ও প্রতিসৃত রশ্মিগুলি অভিলম্ব (0°—0°) রেখার সহিত যে কোণগুলি উৎপন্ন করে ডিগ্রী স্কেল হইতে সোজাসুজি তাহাদের পাঠ লওয়া যায়। আলোকের উৎস L-এর অবস্থান বদলাইয়া প্রতিবারই আপতন ও প্রতিসরণ কোণের মান লওয়া যায়। ইহার পর ত্রিকোণমিতির তালিকা হইতে এই দুই কোণের সাইনের মান নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে, প্রত্যেক বারই $\frac{Sin\ i}{Sin\ r}$-এর মান প্রায় একই হইয়েছে।



চিত্র 3.2

অর্থাৎ প্রতিক্ষেত্রেই এই অনুপাত সমান। ইহা হইতেই প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হইল। আবার আপতিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি ও অভিলম্ব প্রত্যেকেই একই সমতলে থাকে বলিয়া প্রথম সূত্রও প্রমাণিত হইল।

(ii) পিন দ্বারা (Pin method) :

একটি ড্রইং বোর্ড-এর উপর একটি সাদা কাগজ পিন দিয়া গাঁথা হইল। কাগজটির মাঝখানে একটি কাচের ব্লক বসাইয়া পেন্সিল দিয়া উহার সীমারেখা $ABCD$ আঁকা হইল (চিত্র 3.3)। এখন ব্লকটির AB রেখার মাঝখানে O বিন্দুতে একটি পিন লম্বভাবে এবং ব্লকটির একই পার্শ্বে অন্য একটি পিন P অস্থকণভাবে গাঁথা হইল। এখন ব্লকটির DC পার্শ্ব হইতে P এবং O পিনদ্বয়কে লক্ষ্য করিয়া অন্য দুইটি পিন P_1 (DC রেখার উপর) ও P_2 এমনভাবে গাঁথা হইল যেন P, O, P_1 ও P_2 পিনসমূহ একই সরলরেখায় অবস্থিত বলিয়া মনে হয়।



চিত্র 3.3

ব্লকটির AB পার্শ্বে অন্য একটি পিন Q বসাইয়া ব্লকটির DC পার্শ্বে পুনরায় অন্য দুইটি পিন Q_1 ও Q_2-কে অস্থকণভাবে Q এবং O-এর সহিত একলাইনে

দেখিয়া কাগজে আঁকা হইল। এখন ব্রকটি ও পিনগুলি সরাইয়া PO, QO, OP_1, OQ_1, P_1P_2, Q_1Q_2 যোগ করা হইল এবং O বিন্দুতে NON' লম্ব টানা হইল। এখন O-কে কেন্দ্র করিয়া AD বা BC-এর কম ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত আঁকা হইল। ধরা যাক, বৃত্তটি PO, QO, OP_1 এবং OQ_1 রেখাগুলিকে যথাক্রমে K, L, T ও S বিন্দুতে ছেদ করিল। K, L, T ও S হইতে NON'-এর উপর যথাক্রমে KE, LF, TM ও SH লম্ব টানা হইল।

এক্ষেত্রে PO ও QO আপতিত রশ্মিদ্বয় যথাক্রমে OP_1 ও OQ_1 পথে কাচে প্রতিসৃত হইয়া P_1P_2 ও Q_1Q_2 পথে পুনরায় বায়ুতে প্রতিসৃত হইয়াছে। এখন আপতিত রশ্মি PO-এর আপতন কোণ $\angle PON$ এবং প্রতিসরণ কোণ $\angle P_1ON'$।

$$\therefore \quad \frac{\sin PON}{\sin P_1ON'} = \frac{KE/KO}{MT/OT} \text{ (ত্রিকোণমিতির নিয়মে)} = \frac{KE}{MT}$$

$$(\because KO = TO = \text{ব্যাসার্ধ})$$

অনুরূপে, আপতিত রশ্মি QO-এর আপতন কোণ $\angle QON$ এবং প্রতিসরণ কোণ $\angle Q_1ON'$।

$$\therefore \quad \frac{\sin QON}{\sin Q_1ON'} = \frac{LF/LO}{HS/OS} = \frac{LF}{HS} \quad (\because LO = OS)$$

উভয় ক্ষেত্রেই KE ও MT এবং LF ও HS স্কেলের সাহায্যে মাপিলে দেখা যাইবে যে, উভয় অনুপাতই সমান।

অর্থাৎ, $\dfrac{KE}{MT} = \dfrac{LF}{HS}$

এইভাবে অন্য যে-কোন রশ্মি লইলেও এই একই সিদ্ধান্তে পৌঁছানো যাইবে। ইহাই হইল প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রের প্রমাণ। আবার আপতিত রশ্মি (PO বা QO), প্রতিসৃত রশ্মি (P_1O বা Q_1O)-ও ইহাদের অভিলম্ব NON' সকলেই কাগজের তলে অবস্থিত—অতএব প্রথম সূত্রও প্রমাণিত হইল।

3.3. আপেক্ষিক ও পরম প্রতিসরাঙ্ক (Relative and absolute refractive index) :

আমরা পূর্বেই বলিয়াছি যে, যখন কোন আলোকরশ্মি প্রথম মাধ্যম হইতে দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তখন প্রথম মাধ্যমে আপতন কোণের সাইন এবং দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে প্রথম মাধ্যমের

সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলে। 3.3 চিত্রে বায়ু-মাধ্যমকে 'a' এবং কাচ-মাধ্যমকে 'b' ধরিলে এই নিয়মে,

$${}_a\mu_b = \frac{\sin i}{\sin r} \quad \left[\begin{array}{l} i = \text{বায়ু-মাধ্যমে আপতন কোণ} \\ r = \text{কাচ-মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণ} \end{array} \right]$$

ইহাকে আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক বলে।

বিপরীতক্রমে, আলোর গতিপথ প্রত্যাবর্তনশীল (reversible) বলিয়া কোন আলোকরশ্মি একই পথে 'b' মাধ্যম হইতে আসিয়া 'a' মাধ্যমে প্রতিসৃত হইতে পারে, সেক্ষেত্রে 'b' মাধ্যমের সাপেক্ষে 'a' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক,

$${}_b\mu_a = \frac{\sin r}{\sin i}, \quad \left[\begin{array}{l} r = \text{কাচ-মাধ্যমে আপতন কোণ} \\ i = \text{বায়ু-মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণ} \end{array} \right]$$

সুতরাং, $${}_a\mu_b \times {}_b\mu_a = \frac{\sin i}{\sin r} \times \frac{\sin r}{\sin i} = 1$$

বা, $${}_a\mu_b = \frac{1}{{}_b\mu_a}$$

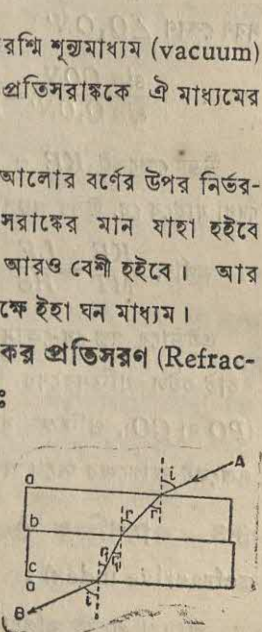
উদাহরণস্বরূপ, যেমন বায়ুর সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·51 বা $\frac{3}{2}$; কাচের সাপেক্ষে বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক তেমনি $\frac{2}{3}$।

পরম প্রতিসরাঙ্ক : যখন কোন আলোকরশ্মি শূন্যমাধ্যম (vacuum) হইতে অন্য কোন মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তখন এই প্রতিসরাঙ্ককে ঐ মাধ্যমের **পরম প্রতিসরাঙ্ক** বলে।

কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের মান আবার আলোর বর্ণের উপর নির্ভরশীল। লালবর্ণের আলোকে কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের মান যাহা হইবে নীল বা বেগুনীবর্ণের আলোকের বেলায় ঐ মান আরও বেশী হইবে। আর প্রতিসরাঙ্কের মান বেশী হওয়ার অর্থ আলোর সাপেক্ষে ইহা ঘন মাধ্যম।

3.3. বিভিন্ন সমান্তরাল মাধ্যমে আলোকের প্রতিসরণ (Refraction through different parallel media) :

চিত্রে (3.4) a, b, c তিনটি বিভিন্ন সমান্তরাল মাধ্যম। A একটি আলোকরশ্মি a মাধ্যম হইতে i আপতন কোণে b মাধ্যমে প্রতিসৃত হইল। b মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণ r হইলে এই রশ্মি c মাধ্যমে আপতিত হওয়ার সময় ইহার আপতন কোণ r-ই হইবে। ধরা যাক, c মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণ হইল r_1। c মাধ্যম হইতে a মাধ্যমে প্রতিসরণের সময়ও c মাধ্যমে



চিত্র 3.4

আপতন কোণ r_1 হইবে এবং a মাধ্যমে প্রতিসৃত রশ্মি (B) A রশ্মির সমান্তরাল হইবে অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ i হইবে। অতএব প্রতিসরাঙ্কের সূত্রানুসারে,

$$_a\mu_b=\frac{\sin i}{\sin r};\ _b\mu_c=\frac{\sin r}{\sin r_1};\ _c\mu_a=\frac{\sin r_1}{\sin i}$$

$$\therefore\quad {_a\mu_b}\times{_b\mu_c}\times{_c\mu_a}=\frac{\sin i}{\sin r}\times\frac{\sin r}{\sin r_1}\times\frac{\sin r_1}{\sin i}=1$$

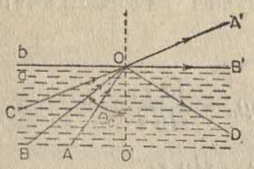
উপরি-উক্ত সমীকরণ শুধু a, b, c এই তিনটি মাধ্যম নয়—যে-কোন সংখ্যক মাধ্যমের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। শুধু মাত্র প্রথম ও শেষ মাধ্যম এক হইতে হইবে। ইহাদের মধ্যে একটি মাধ্যম ব্যতিরেকে অন্য মাধ্যমগুলির প্রতিসরাঙ্কের মান জানা থাকিলে সেই মাধ্যমটিরও প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

3.5. পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন (Total internal reflection):

চিত্র নং 3.3-তে আমরা দেখিতে পাই যে, কাচ মাধ্যম হইতে OP_1 ও OQ_1 আলোকরশ্মিদ্বয় বায়ুমাধ্যমে প্রবেশ করিয়া P_1 ও Q_1 বিন্দুতে অঙ্কিত লম্বদ্বয় হইতে দূরে সরিয়া যথাক্রমে P_1P_2 ও Q_1Q_2 পথে চলিয়া গেল। ইহা হইতেই বোঝা গেল যে, ঘনমাধ্যম হইতে লঘুমাধ্যমে আলোকের প্রতিসরণের ক্ষেত্রে প্রতিসরণ কোণ আপতন কোণ অপেক্ষা বড় হয়। ফলে আপতন কোণ যত বাড়ানো হইবে প্রতিসরণ কোণ তদপেক্ষা বেশী বৃদ্ধি পাইবে। অবশেষে এমন এক অবস্থা আসিবে যখন আপতন কোণের কোন নির্দিষ্ট মানে প্রতিসৃত রশ্মি উভয় মাধ্যমের বিভেদতল ঘেঁষিয়া যাইবে অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ 90° হইবে। এখন আপতন কোণ আরো বাড়াইলে আলোকরশ্মির আর প্রতিসরণ হইবে না—কারণ প্রতিসরণ কোণ 90°-এর বেশী হইতে পারে না। তখন প্রতিফলনের নিয়মানুযায়ী ঘনমাধ্যমের ভিতরেই আলোকের সম্পূর্ণ প্রতিফলন হইবে এবং এই অবস্থায় মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদতল আয়নার কাজ করিবে। ইহাকেই **পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন** বলে। যে আপতন কোণের জন্য প্রতিসরণ কোণ 90° হয়, সেই আপতন কোণকে মাধ্যমদ্বয়ের **সংকটকোণ** (critical angle) বলে।

3.5 নং চিত্রে দেখা যাইতেছে যে, AO আলোকরশ্মি জলমাধ্যম হইতে OA' পথে বায়ুমাধ্যমে প্রতিসৃত হইয়া O বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব OO' হইতে দূরে সরিয়া গিয়াছে। এক্ষেত্রে জল ঘনমাধ্যম এবং বায়ু লঘুমাধ্যম। পরবর্তী অবস্থায় BO রশ্মি এমন আপতন কোণ সৃষ্টি করিয়াছে যখন উহার

প্রতিসৃত রশ্মি OB' মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদতল ঘেঁষিয়া গিয়াছে অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ $90°$ হইয়াছে। এই আপতন কোণ ($\angle BOO'=\theta_c$)-কে সংকট কোণ বলে।



চিত্র 3.5

এখন আপতন কোণ আরো বাড়াইলে CO রশ্মি পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের নিয়মে OD পথে জলমাধ্যমেই পূর্ণ প্রতিফলিত হইবে।

সুতরাং পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের দুইটি শর্ত :

(i) আলোকরশ্মিকে ঘনমাধ্যম হইতে লঘুমাধ্যমে যাইতে হইবে।

(ii) আপতন কোণ মাধ্যমদ্বয়ের সংকটকোণ অপেক্ষা বড় হইবে।

3.5a. সংকটকোণ ও প্রতিসরাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক (Relation between θ_c and μ) :

ধরা যাক, 'a' ঘনমাধ্যম হইতে আলোকরশ্মি 'b' লঘুমাধ্যমে প্রতিসরণের সময় সংকটকোণে আপতিত হইল—অর্থাৎ θ_c আপতন কোণে প্রতিসরণ কোণ $90°$ হইল।

অতএব, প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞানুযায়ী,

$$_a\mu_b=\frac{\sin\theta_c}{\sin 90°}$$

বা $_a\mu_b=\sin\theta_c \quad [\because \sin 90°=1]$

বা $\sin\theta_c=\frac{1}{_b\mu_a}$

বা $\theta_c=\sin^{-1}{}_a\mu_b$

বা $\theta_c=\sin^{-1}\frac{1}{_b\mu_a} \quad [\therefore \ _a\mu_b=\frac{1}{_b\mu_a}]$

অতএব, ঘনমাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক জানা থাকিলে সংকটকোণ অথবা সংকটকোণ জানা থাকিলে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ (Examples) :

(1) কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ হইলে উহার সংকট কোণ নির্ণয় কর।

উত্তর : সংকট কোণের নিয়মানুসারে, $Sin\ \theta_c=\frac{1}{\mu}=\frac{1}{\sqrt{2}}=Sin\ 45°$

$\therefore \ \theta_c=\mathbf{45°}$

(2) কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হইলে, কাচ হইতে বাতাসে কোন আলোক-রশ্মির সংকট কোণ কত হইবে ?

উত্তর : $Sin\ \theta_c = \frac{1}{\mu}$, $\quad \therefore\ Sin\ \theta_c = \frac{1}{1·5} = 0·667$

ত্রিকোণোমিতির *Sine* তালিকা হইতে,

$Sin\ 41·80° = 0·667$

$\therefore$ কাচ ও বায়ুর মধ্যে সংকট কোণ $\theta_c = \mathbf{41·80°}$

(3) ঘনমাধ্যম কাচ হইতে লঘুমাধ্যম জলে আলোকরশ্মি প্রবেশ করিতেছে। যদি কাচ ও জলের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·58 ও 1·33 হয় তবে কাচ হইতে জলের সংকট কোণ নির্ণয় কর।

উত্তর : বায়ুর সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $= {}_a\mu_g = 1·58$

বায়ুর সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক $= {}_a\mu_w = 1·33$

এখন, ${}_a\mu_g \times {}_g\mu_w \times {}_w\mu_a = 1$

$$\therefore\ 1·58 \times {}_g\mu_w \times \frac{1}{1·33} = 1$$

$$বা\ \frac{1}{{}_g\mu_w} = \frac{1·58}{1·33}$$

$$\therefore\ {}_w\mu_g = \frac{1·58}{1·33}$$

এখন, $Sin\ \theta_c = \frac{1}{{}_w\mu_g} = \frac{1·33}{1·58} = 0·842$ (প্রায়)

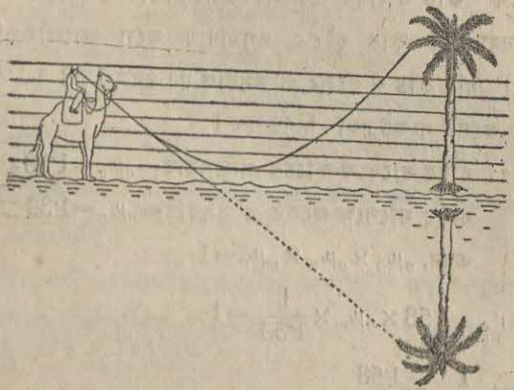
বা $Sin\ \theta_c = Sin\ 57°22'$ $\quad [\because Sin\ 57°22' = 0·842]$

$\therefore\ \theta_c = \mathbf{57°22'}$

3.6 মরীচিকার সৃষ্টি (Formation of mirage) :

মরীচিকা হইল আলোকের প্রতিসরণ-সংক্রান্ত মরুভূমির একটি সাধারণ প্রাকৃতিক ঘটনা। সূর্যতাপে মরুভূমির বালি অত্যন্ত গরম হইলে ইহার সংলগ্ন বায়ুস্তরও গরম হইয়া উঠে। ফলে, গরম বালুকারাশির সংলগ্ন বায়ুস্তরের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা কম হয়। কিন্তু উপরের বায়ু তুলনামূলকভাবে শীতল এবং ঘন হইতে ঘনতর হইতে থাকে। ফলে, দূরবর্তী মরূদ্যানস্থ গাছপালা (চিত্র 3.6) হইতে আগত কোন আলোকরশ্মি নীচের দিকে আসিবার সময় ক্রমশঃ ঘন-মাধ্যম হইতে লঘুমাধ্যমে প্রতিসৃত হইতে থাকে এবং অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায়। শেষে এমন এক অবস্থার সৃষ্টি হয়, যখন কোন বায়ুস্তরে

আলোকের আপতন কোণ সেই স্তর ও পরবর্তী নিম্নস্তরের সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী হইয়া যায় এবং তখন আলোকের পূর্ণ প্রতিফলন ঘটে। তারপর ঐ রশ্মি উপরের দিকে ঘন হইতে ঘনতর মাধ্যমের ভিতর প্রতিসৃত হওয়ায় ক্রমশঃ উপরের দিকে বাঁকিয়া যায় এবং অবশেষে কোন মরুচারীর চোখে আসিয়া পড়ে। মরুচারীর তখন মনে হয়, আলোকরশ্মি মাটির তলা হইতে আসিতেছে



চিত্র 3.6

—কেননা, শেষ যে রশ্মি তাহার চোখে পড়ে তাহা পিছনের দিকে বর্ধিত করিলে গাছটির প্রতিবিম্ব উল্টো অবস্থায় মাটির তলায় অবস্থিত বলিয়া মনে হয়। ইহা ছাড়া, নীচের গরম বায়ু সবসময় উপরে উঠিতে থাকে এবং উপরের ঠাণ্ডা বায়ু নীচে নামিতে থাকে। ইহার ফলে গাছের প্রতিবিম্বটি সবসময় কাঁপিতে থাকে। একমাত্র জলাশয়ে বাতাসে কম্পনশীল গাছের যেরূপ বিপরীত ছায়া পড়ে, এই প্রতিবিম্ব দেখিতে ঠিক সেইরূপ হয়। ফলে তৃষ্ণার্ত মরুচারীর মনে হয় অল্পদূরে কোন জলাশয় রহিয়াছে এবং জলের খোঁজে সে মিথ্যাই ছুটে। এই বিভ্রান্তিই **মরীচিকা**।

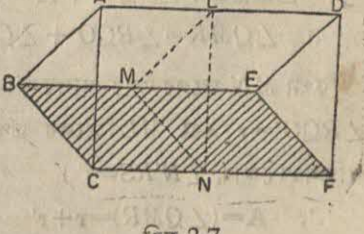
বিপরীতক্রমে শীতপ্রধান অঞ্চলে (মেরু সাগরে) বায়ুর ঘনত্ব উপরের দিকে কমিয়া যায়। ফলে নাবিকেরা সমুদ্র হইতে সমুদ্রের তীরবর্তী বাড়ী ইত্যাদির উল্টো প্রতিবিম্ব আকাশে ঝুলন্ত অবস্থায় দেখিয়া থাকেন। আবার সমুদ্র-তীরস্থিত কোন ব্যক্তিও দূরে সমুদ্রের জাহাজের উল্টো প্রতিবিম্ব আকাশে ঝুলন্ত অবস্থায় দেখিতে পান। এই সমস্তই আলোকের প্রতিসরণ ও পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য ঘটে।

মরুভূমির মরীচিকাকে অনেক সময় নিম্ন মরীচিকা (Inferior mirage) এবং সমুদ্রের মরীচিকাকে ঊর্ধ্ব মরীচিকা (Superior mirage) বলা হয়।

3.7 প্রিজমের মধ্যে আলোকের প্রতিসরণ (Refraction through a prism) :

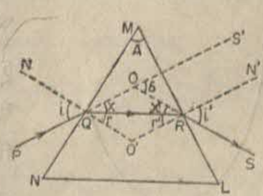
প্রিজম্ : প্রিজম্ হইল একটি কাচের ত্রিভুজাকৃতি ফলক যাহার তলগুলি পরস্পরের সহিত আনত এবং প্রান্তরেখাগুলি পরস্পর সমান্তরাল। ইহার পাঁচটি তল আছে—দুইটি ত্রিভুজাকার ও তিনটি আয়তাকার (চিত্র 3.7)।

চিত্রে BE প্রিজমের একটি প্রান্ত-রেখা, $BEFC$, $BADE$ এবং $CADF$ ইহার তিনটি আয়তাকার তল। এই তিনটি তলের যে-কোন দুইটিকে **প্রতিসারক পৃষ্ঠ** (refracting surface) এবং অন্যটিকে **ভূমিতল** বলে। MNL প্রিজমের একটি **প্রধান ছেদ** (principal section)। ইহা প্রিজমের তিনটি প্রান্তরেখার (BE, CF এবং AD) সহিত লম্বভাবে অবস্থান করে। ইহার MN এবং ML রেখাকে প্রতিসারক পৃষ্ঠে ধরিলে NL ভূমিতলে অবস্থিত এবং NML কোণ প্রিজমের **প্রতিসারক কোণ**।



চিত্র 3.7

প্রিজমে আলোকের প্রতিসরণ আলোচনাকালে সর্বদা আলোক ইহার প্রধান ছেদের তলে অবস্থান করিতেছে বলিয়া ধরা হয়। ধরা যাক্, চিত্রে (3.8) MNL প্রিজমের একটি প্রধান ছেদ। একটি রশ্মি PQ ইহার MN তলে Q বিন্দুতে আপতিত হইল এবং বায়ু-মাধ্যম হইতে কাচমাধ্যমে প্রবেশ করায় প্রতিসৃত রশ্মি QR, MN তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব (NO')-এর দিকে সরিয়া গেল। এই রশ্মি, QR প্রিজমের ML তলের R বিন্দুতে আপতিত হইয়া পুনরায় বায়ুমাধ্যমে RS পথে প্রতিসৃত হইবে এবং এক্ষেত্রে ML তলে অঙ্কিত অভিলম্ব ($N'O'$) হইতে দূরে সরিয়া যাইবে। অতএব $PQRS$ হইল রশ্মির সমগ্র পথ। প্রিজমে প্রতিসরণের ফলে আলোকরশ্মি প্রিজমের ভূমির দিকে বাঁকিয়া যায় অর্থাৎ ইহার পথের **চ্যুতি** (deviation) ঘটে। আপতিত



চিত্র 3.8

রশ্মি PQ এবং নির্গমরশ্মি (emergent ray) RS-এর অভিমুখদ্বয় পরস্পরের সহিত যে কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে **চ্যুতি-কোণ** (angle of deviation) বলে। চিত্রে $\angle S'OS(=\delta)$ হইল চ্যুতি কোণ।

চ্যুতি-কোণের পরিমাপ : চিত্র (3.8) হইতে OQR ত্রিভুজের QO বাহু বর্ধিত করা হইয়াছে বলিয়া বহিঃস্থ কোণ (=চ্যুতি কোণ) $\delta=\angle OQR+\angle ORQ=\angle x+\angle x'$। আবার, MQR ত্রিভুজে $\angle QMR+\angle MQR+\angle MRQ=180°=\angle MQO'+\angle MRO'$ (NO' ও $N'O'$ লম্ব বলিয়া)

$=\angle MQR+\angle RQO'+\angle MRQ+\angle QRO'$

বা $\angle QMR=\angle RQO'+\angle QRO'$

এখন MN তলের উপর আপতন কোণ $\angle PQN=i$ এবং প্রতিসরণ কোণ $\angle RQO'=r$ এবং ML তলের উপর আপতন কোণ, $\angle QRO'=r'$ এবং প্রতিসরণ কোণ, $\angle N'RS=i'$।

$\therefore\ A=(\angle QMR)=r+r' \cdots\cdots(1)$

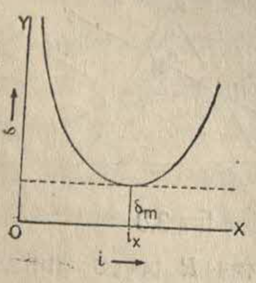
$\therefore\ \delta=\angle x+\angle x'=(i-r)+(i'-r')$

$=i+i'-(r+r')$

বা, $\delta=i+i'-A \cdots\cdots(2)$

3.7a. নিম্নতম চ্যুতি-কোণ (Angle of minimum deviation) **:**

উপরের সমীকরণ হইতে বোঝা যায় যে, কোন নির্দিষ্ট প্রতিসারক কোণ-যুক্ত প্রিজমের চ্যুতি-কোণ, δ আপতন কোণ, i-এর উপর নির্ভর করে।



চিত্র 3.9

অর্থাৎ আপতন কোণ পরিবর্তিত করিলে চ্যুতি-কোণও পরিবর্তিত হয়। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যায় যে, একটি রশ্মিকে বিভিন্ন আপতন কোণে একটি প্রিজমের উপর ফেলিলে একটি নির্দিষ্ট আপতন কোণে চ্যুতি-কোণ নিম্নতম হয়। অর্থাৎ আপতিত রশ্মি ঐ নির্দিষ্ট কোণ অপেক্ষা বেশী বা কম কোণে আপতিত হইলে চ্যুতি-কোণ সর্বদা বাড়িয়া যায়। 3.9 নং চিত্রে আপতন কোণ (i) ও চ্যুতি-কোণের (δ) একটি লেখচিত্র দেখানো হইল। ইহাতে দেখা যায় যে, আপতন-কোণের একটি নির্দিষ্ট মান, i_x-এ চ্যুতি-কোণ (δ)-এর মান সর্বনিম্ন (δ_m) হয়। অন্য যে-কোন আপতন-

কোণের বেলায় চ্যুতি-কোণ বেশী হয়। চ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম হইলে উহাকে **নিম্নতম চ্যুতি-কোণ** (δ_m) এবং প্রিজমের এই অবস্থানকে **নিম্নতম চ্যুতির অবস্থান** (Position of minimum deviation) বলে।

3.7b. চ্যুতিকোণ ও প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক-এর মধ্যে সম্পর্ক (Relation between δ and μ)

3.7 অনুচ্ছেদের (1) ও (2) নং সমীকরণ হইতে আমরা জানি,

$$A = r + r'$$

$$\delta = i + i' - A$$

গাণিতিক হিসাবে এবং পরীক্ষার সাহায্যে দেখানো যায় যে, কোন প্রিজমের নিম্নতম চ্যুতির অবস্থানে আপতন-কোণ (i) ও নির্গম-কোণ (i') সর্বদা সমান হয়। ইহা হইতে আবার সহজেই প্রমাণ করা যায় যে, $r = r'$। অতএব উপরি-উক্ত সমীকরণগুলি হইতে,

$$\frac{A}{2} = r \quad \cdots \quad \cdots \quad (3)$$

এবং $\delta_m = 2i - A$ বা $i = \dfrac{\delta_m + A}{2}$ ⋯ (4)

∴ (3) এবং (4) হইতে,

প্রিজমের কাচের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = \dfrac{\sin i}{\sin r} = \dfrac{\sin \frac{\delta_m + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$ ⋯⋯(5)

সুতরাং, নিম্নতম চ্যুতি-কোণ ও প্রিজমের প্রতিসারক কোণ জানা থাকিলেই উপরের সমীকরণ (5) হইতে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ (Examples) : (1) কোন প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং ইহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5। ইহার নিম্নতম চ্যুতি-কোণ কত?

[$\sin 48°36' = 0·75$]

উত্তর : এক্ষেত্রে, $A = 60°$ এবং $\mu = 1·5$।

আমরা জানি, $\mu = \dfrac{\sin \frac{\delta_m + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$

$$\therefore \quad 1{\cdot}5=\frac{\sin\frac{\delta_m+60}{2}}{\sin\left(\frac{60}{2}\right)^{\circ}}=\frac{\sin\frac{\delta_m+60}{2}}{\frac{1}{2}}$$

বা, $0{\cdot}75=\sin\frac{\delta_m+60}{2}$

বা, $\sin\ 48^{\circ}36'=\sin\frac{\delta_m+60}{2}$

বা, $48^{\circ}36'=\frac{\delta_m+60}{2}$

বা, $\delta_m=\mathbf{37^{\circ}12'}$.

(2) কোন প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং নিম্নতম চ্যুতি-কোণ 40°, ইহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক কত ?

আমরা জানি, $\mu=\dfrac{\sin\frac{\delta_m+A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$

বা, $\mu=\dfrac{\sin\frac{40^{\circ}+60^{\circ}}{2}}{\sin\left(\frac{60}{2}\right)^{\circ}}=\dfrac{\sin 50^{\circ}}{\sin 30^{\circ}}$

বা, $\mu=\frac{0{\cdot}7660}{0{\cdot}5000}=1{\cdot}53$

$\therefore$ প্রতিসরাঙ্ক, $\mu=\mathbf{1{\cdot}53}$.

3.8. পাতলা প্রিজমে প্রতিসরণ (Refraction through thin prism) :

কোন প্রিজমের প্রতিসারক কোণ ক্ষুদ্র (অনধিক 10°) হইলে উহাকে পাতলা প্রিজম্ বলা হয়। এরূপ এক পাতলা প্রিজমে কোন আলোক রশ্মি ক্ষুদ্র আপতন কোণে পড়িয়া প্রতিসৃত হইলে চ্যুতি-কোণ ও প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্ক নিম্নরূপ হয়।

এক্ষেত্রে A ক্ষুদ্র বলিয়া $\sin A=A$ বলা যাইতে পারে। আবার পাতলা প্রিজমে চ্যুতি-কোণের মানও ক্ষুদ্র হয়।

$$\therefore \quad \mu=\frac{\sin\frac{A+\delta}{2}}{\sin\frac{A}{2}}\simeq\frac{\frac{A+\delta}{2}}{\frac{A}{2}}=\frac{A+\delta}{A}$$

বা $\mu A = A + \delta$

বা $\delta = \mu A - A = A(\mu - 1)$

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, আপতন-কোণ ক্ষুদ্র হইলে পাতলা প্রিজমে প্রতিসৃত আলোকরশ্মির চ্যুতি-কোণ আপতন-কোণের উপর নির্ভর করে না।

উদাহরণ (Examples) :

(1) একটি পাতলা প্রিজমে আলোকরশ্মির 6° চ্যুতি হয়। যদি প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক 1·6 হয়, তবে ইহার প্রতিসারক কোণের মান নির্ণয় কর।

উত্তর : পাতলা প্রিজমের ক্ষেত্রে, $\delta = A(\mu - 1)$

$$\text{বা } A = \frac{\delta}{\mu - 1} = \frac{6}{1 \cdot 6 - 1}$$

$$= \frac{6}{0 \cdot 6} = 10^\circ$$

$\therefore$ **প্রতিসারক কোণ, A = 10°**

প্রশ্নাবলী

1. আলোকের প্রতিসরণ বলিতে কি বোঝায়? ইহার সূত্রগুলি কি? পরীক্ষাগারে পিনপদ্ধতির সাহায্যে কিভাবে ইহাদের প্রমাণ করিবে?

[What is refraction of light ? What are the laws of refraction of light ? How would you verify them in the laboratory by the pin method ?]

2. স্নেলের সূত্র কি? কিভাবে ইহার প্রমাণ করা যায়? বস্তুর প্রতিসরাঙ্ক বলিতে কি বোঝায়?

[What is meant by Snell's law ? How it can be verified experimentally ? What is meant by refractive index of a material body ?]

3. পূর্ণ প্রতিফলন কি? সংকট-কোণ কাহাকে বলে? ইহার সহিত প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্ক কি? পূর্ণ প্রতিফলনের শর্তগুলি উল্লেখ কর। ইহার প্রয়োগের একটি উদাহরণ দাও।

[What is total reflection ? What is critical angle ? How it is related to the refractive index ? Mention the conditions of total reflection. Give an example of the application of total reflection.]

4. মরীচিকা কি ? কিভাবে ইহার সৃষ্টি হয় ?

[What is a mirage ? How is it formed ?]

5. প্রিজম্ কি ? ইহার ভিতর আলোকের প্রতিসরণ বর্ণনা কর।

[What is a prism. Describe the refraction of light through a prism.]

6. প্রিজমের চ্যুতি-কোণ বলিতে কি বোঝায় ? নিম্নতম চ্যুতি-কোণ কি এবং কিভাবে ইহা নির্ণয় করা যায়। নিম্নতম চ্যুতি-কোণের সঙ্গে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্ক কি ? পাতলা প্রিজমে এই সম্পর্ক কিরূপ হয় ?

[What is the angle of deviation in a prism ? What is the angle of minimum deviation ? How it can be determined ? What is the relation between the angle of minimum deviation and the refractive index of the material of the prism. How this relation differs in the case of thin prism ?]

7. (a) 50° আপতন-কোণে কোন রশ্মি একটি প্রিজমের ভিতর দিয়া নিম্নতম চ্যুতিতে প্রতিসৃত হইল। প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° হইলে রশ্মির নিম্নতম চ্যুতি-কোণ ও প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের মান নির্ণয় কর।

(b) কোন প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং ইহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$; ইহার নিম্নতম চ্যুতি-কোণ কত ?

(c) বায়ু সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক 1·33 ; জল সাপেক্ষে গ্লিসারিনের 1·105 এবং গ্লিসারিন সাপেক্ষে কাচের 1·05। বায়ু ও কাচের সংকট-কোণ নির্ণয় কর।

(a) A ray of light falling at an angle of 50° is refracted through a prism in the minimum deviation position. If the angle of the prism is 60°, find out the angle of minimum deviation and the value of the refractive index of the prism. [A : 40°, 1·53]

(b) If a prism has refracting angle of 60° and refractive index $\sqrt{2}$; calculate its angle of minimum deviation. [A : 30°]

(c) The refractive index of water relative to air is 1·33, of glycerine relative to water 1·105 and of glass relative to glycerine is 1·05. Find the critical angle between air and glass. [A : 40°30′]

চতুর্থ অধ্যায়

লেনস্ (Lens)

4.1 লেনস্ কাহাকে বলে ? (What is a lens ?)

কোন সমসত্ব ও স্বচ্ছ প্রতিসারক মাধ্যমকে দুইটি গোলীয় বা একটি সমতল ও অন্য একটি গোলীয় তলদ্বারা সীমাবদ্ধ করিলে তাহাকে **লেনস্** বলে। লেনস্ প্রধানত দুই প্রকারের, যথা :

(i) **উত্তল** (convex) বা **অভিসারী** (convergent) লেনস্।

(ii) **অবতল** (concave) বা অপসারী (divergent) লেনস্।

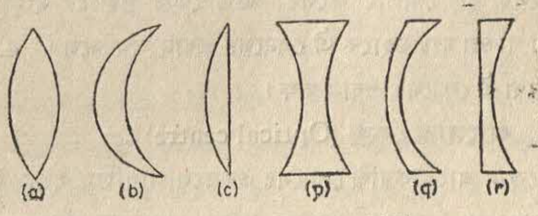
(i) **উত্তল লেনস্ :** যে লেনসের মধ্যভাগ মোটা এবং প্রান্তদ্বয় সূঁচাল তাহাদের উত্তল লেনস্ বলে। দুই তলের আকৃতির পার্থক্যের জন্য ইহা আবার তিন প্রকারের হইতে পারে। যথা :

(a) **উভোত্তল** (Double convex) : যে লেনসের উভয় তলই উত্তল তাহাকে উভোত্তল লেনস্ বলে (চিত্র 4.1a)।

(b) **অবতোলত্তল** (concavo-convex) : যে উত্তল লেনসের একদিক অবতল ও অন্যদিক উত্তল তাহাকে অবতোলত্তল-লেনস্ বলে (চিত্র 4.1b)।

(c) **সমোতলোত্তল** (plano-convex) : যে লেনসের একটি তল সমতল ও অপরটি উত্তল তাহাকে সমোতলোত্তল লেনস্ বলে। (চিত্র 4.1c)।

(ii) **অবতল লেনস্ :** উত্তল লেনসের মত অবতল লেনসেরও তিনটি শ্রেণীবিভাগ আছে, যথা :



চিত্র 4.1

(a) **উভাবতল** (Double concave) : যে লেনসের উভয়তলই অবতল তাহাকে উভাবতল লেনস্ বলে (চিত্র 4.1p)।

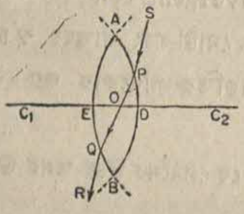
(b) **উত্তলাবতল** (Convexo-concave) : যে অবতল লেনসের একটি উত্তল ও অন্যদিক অবতল তাহাকে উত্তলাবতল লেনস্ বলে (চিত্র 4.1q)।

(c) **সমতলাবতল** (plano-concave) : যে লেনসের একদিক সমতল ও অপরদিক অবতল তাহাকে সমতলাবতল লেনস্ বলে (চিত্র 4.1r)।

4.2 লেনস্-সংক্রান্ত কয়েকটি সংজ্ঞা (Some definitions in connection with a lens) :

(i) **বক্রতা-কেন্দ্র** (Centre of curvature) :

লেনসের উভয় তলই গোলীয় হইলে স্বভাবতঃই উহারা দুইটি গোলকের অংশ হইবে। ঐ গোলকদ্বয়ের কেন্দ্রগুলিকে ঐ তলদ্বয়ের বক্রতা-কেন্দ্র বলে।



চিত্র 4.2

চিত্রে (4.2) AB লেনসের উভয় তলই গোলীয়। ADB তল যে গোলকের অংশ (কাটা লাইন দিয়া দেখানো হইয়াছে) তাহার কেন্দ্র C_1; সুতরাং C_1 বিন্দু ADB তলের বক্রতা-কেন্দ্র। অনুরূপে C_2 বিন্দু AEB তলের বক্রতা-কেন্দ্র! ইহার কোন তল গোলীয় না হইয়া সমতল হইলে উহার বক্রতা-কেন্দ্র অসীমে (infinity) অবস্থিত হইবে।

(ii) **বক্রতা-ব্যাসার্ধ** (Radius of curvature) :

লেনসের দুইটি তল যে গোলকের অংশ সেই গোলকের ব্যাসার্ধকে ঐ তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ বলে। 4.2 নং চিত্রে ADB তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ C_1D এবং AEB তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ C_2E।

(iii) **প্রধান অক্ষ** (Principal axis) :

লেনসের দুই গোলীয় তলের বক্রতা-কেন্দ্র দুইটিকে সংযুক্ত করিলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় উহাকে ঐ লেনসের প্রধান অক্ষ বলে। 4.2 নং চিত্রে C_1C_2 রেখা ঐ লেনসের প্রধান অক্ষ।

(iv) **আলোক কেন্দ্র** (Optical centre) :

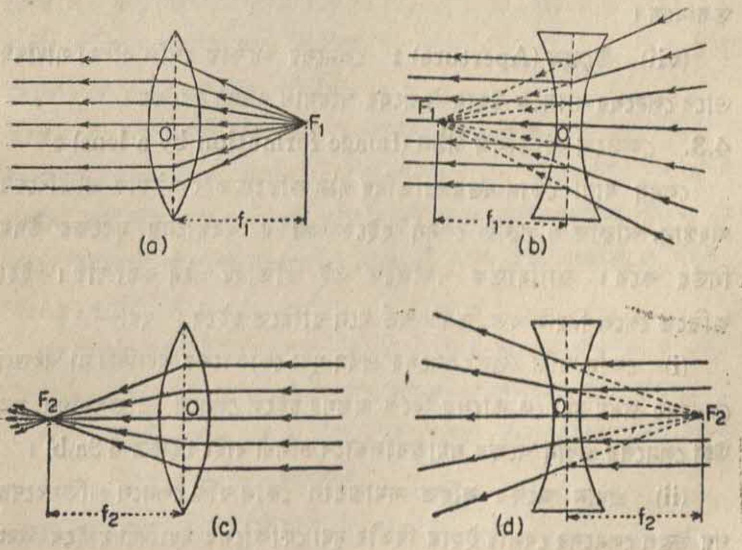
যদি কোন আলোকরশ্মি লেনসের একতলে আপতিত হইয়া ইহার ভিতর প্রতিসরণের পর লেনসের অন্যতল হইতে আপতিত রশ্মির সমান্তরালভাবে নির্গত হয় তবে লেনসের ভিতর রশ্মির গতিপথ প্রধান অক্ষকে যে বিন্দুতে ছেদ করে তাহাকে লেনসের আলোক-কেন্দ্র বলে। 4.2 নং চিত্রে আপতিত রশ্মি, SP ও নির্গম রশ্মি, QR পরস্পর সমান্তরাল এবং লেনসের ভিতর প্রতিসৃত

রশ্মি PQ প্রধান অক্ষ C_1 C_2-কে O বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে, অতএব O বিন্দুই লেনসের আলোক কেন্দ্র।

চিত্রে (চিত্র 4.2) দেখা যাইতেছে যে আপতিত রশ্মি ও নির্গম রশ্মি পরস্পর সমান্তরাল হইলেও ইহারা পরস্পর হইতে কিছুটা পাশে সরিয়া গিয়াছে। লেনস পাতলা হইলে এই পার্শ্বসরণ কমিয়া যায় এবং খুব পাতলা লেনসের ক্ষেত্রে ইহার আলোক-কেন্দ্রকে লেনসের ভিতর প্রধান অক্ষের উপর এমন একটি বিন্দু ধরা হয় যাহার ভিতর দিয়া গেলে আলোক রশ্মির কোন পার্শ্বসরণ হয় না।

(v) **ফোকাস ও ফোকাস দূরত্ব** (Focus and focal length) :

লেনসের প্রধান অক্ষের উপর একটি বিন্দু আছে যেখান হইতে অপসারী আলোক রশ্মি (উত্তল) লেনসের মধ্যদিয়া প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের



চিত্র 4.3

সমান্তরাল হইয়া যায় (চিত্র 4.3a) অথবা যাহার অভিমুখে আগত একগুচ্ছ অভিসারী আলোকরশ্মি (অবতল) লেনসে প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে চলিয়া যায় (চিত্র 4.3b)। উভয় ক্ষেত্রেই এই বিন্দুকে (F_1) লেনসের **প্রথম প্রধান** (বা মুখ্য) **ফোকাস** (first principal focus) এবং আলোক-কেন্দ্র হইতে এই বিন্দু পর্যন্ত দূরত্ব, OF_1-কে লেনসের **প্রথম ফোকাস দূরত্ব** f_1 (first focal length) বলে।

আবার প্রধান অক্ষের সমান্তরাল সকল রশ্মি উত্তল লেনসে প্রতিসরণের

পর প্রধান অক্ষের উপর একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে মিলিত হয় (চিত্র 4.3c) এবং অবতল লেনসে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল সকল আলোকরশ্মি প্রতিসরণের পরে প্রধান অক্ষের উপর একটি নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া মনে হয় (চিত্র 4.3d)। উভয়ক্ষেত্রেই এই বিন্দুকে (F_2) লেনসের **দ্বিতীয় প্রধান (বা মুখ্য) ফোকাস** (second principal focus) এবং এই বিন্দু হইতে লেনসের আলোক-কেন্দ্র (O) পর্যন্ত দূরত্ব, OF_2-কে **দ্বিতীয় ফোকাস দূরত্ব** (second focal length) বা f_2 বলে।

অতএব লেনসের দুইপাশে দুইটি ফোকাস থাকে।

(vi) **ফোকাস তল** (Focal plane) : ফোকাস-বিন্দুর মধ্যদিয়া প্রধান অক্ষের সহিত লম্বভাবে কোন তল কল্পনা করিলে উহাকে লেনসের ফোকাস তল বলে।

(vii) **উন্মেষ** (Aperture) : লেনসের আকার গোল বলিয়া সাধারণ ভাবে লেনসের ব্যাসকে উহার উন্মেষের পরিমাপ বলিয়া ধরা হয়।

4.3. লেনসে প্রতিবিম্ব গঠন (Image formation by a lens) :

লেনস্ দ্বারা কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করিতে হইলে ইহার প্রতিবিম্বের অবস্থান, আকৃতি ও প্রকৃতি লেনস্ হইতে বস্তুটির অবস্থানের দূরত্বের উপর নির্ভর করে। জ্যামিতিক পদ্ধতিতে এই প্রতিবিম্ব গঠন করা যায়। ইহা করিতে গেলে নিম্নলিখিত তিনটি শর্ত মনে রাখিতে হইবে। যথা—

(i) কোন রশ্মি উত্তল লেনসের প্রথম মুখ্য ফোকাসের মধ্যদিয়া বা অবতল লেনসের প্রথম মুখ্য ফোকাসের দিকে অগ্রসর হইলে লেনসে প্রতিসরণের পর উহা লেনসের প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে চলিয়া যাইবে (চিত্র 4.3a,b)।

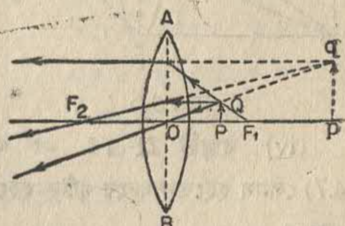
(ii) প্রধান অক্ষের সহিত সমান্তরাল কোন রশ্মি লেনসে প্রতিসরণের পর উত্তল লেনসের বেলায় ইহার দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাসের মধ্যদিয়া যাইবে এবং অবতল লেনসের বেলায় ইহার দ্বিতীয় মুখ্য ফোকাস হইতে প্রতিসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে (চিত্র 4.3c,d)।

(iii) খুব পাতলা লেনস্ ব্যবহার করা হয় বলিয়া যে আলোকরশ্মি লেনসের আলোক-কেন্দ্রের মধ্যদিয়া যাইবে, প্রতিসরণের পর উহার কোন চ্যুতি হইবে না—অর্থাৎ ইহা সরাসরি একই পথে চলিয়া যাইবে।

উপরি-উক্ত তিনটি রশ্মির যে কোন দুইটির সাহায্য লইলেই লেনসে প্রতিবিম্ব গঠন করা যায়। নিম্নে বস্তুর অবস্থানের তারতম্যে প্রতিবিম্বের গঠন রশ্মি-চিত্রের (ray-diagram) সাহায্যে দেখানো হইল।

4.3a. উত্তল লেনসে প্রতিবিম্ব গঠন (Formation of image by a convex lens) :

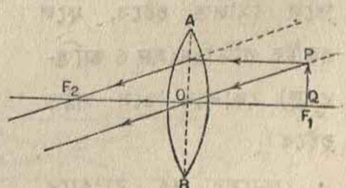
(i) **বস্তু ফোকাস দূরত্বের মধ্যে :** চিত্রে (4.4) PQ একটি বস্তু AB উত্তল লেনসের প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে লেনসের প্রথম ফোকাস F_1 এবং আলোক-কেন্দ্র O-এর মধ্যে অবস্থিত। বস্তুর Q বিন্দু হইতে একটি আলোক-রশ্মি QA ফোকাস, F_1-এর মধ্য দিয়া যায় এবং প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের সমান্তরাল হইয়া চলিয়া যায়। এই বিন্দু হইতে দ্বিতীয় রশ্মি প্রধান অক্ষের সহিত সমান্তরালভাবে লেনসে আপতিত হয় এবং প্রতিসরণের পর দ্বিতীয় ফোকাস, F_2 দিয়া চলিয়া যায়। তৃতীয় রশ্মি আলোককেন্দ্র O দিয়া সোজা পথে চলিয়া যায়। এই তিন আলোকরশ্মি অপসারী বলিয়া ইহাদের পেছনের দিকে বর্ধিত করিলে ইহারা q বিন্দুতে মিলিত হয়। অতএব q বিন্দু হইতে প্রধান অক্ষের উপর লম্ব qp-ই বস্তুটির প্রতিবিম্ব হইবে। এই প্রতিবিম্বের কোন বাস্তব-অস্তিত্ব থাকে না বলিয়া ইহাকে অসদ্‌বিম্ব (virtual image) বলে, ইহা প্রকৃতিতে সমশীর্ষ (erect) ও বিবর্ধিত (magnified)।



চিত্র 4.4

অণুবীক্ষণ যন্ত্র, বিবর্ধক কাচ (magnifying glass) প্রভৃতিতে ছোট বস্তুকে বড় করিয়া দেখার জন্য উত্তল লেনসের এইরূপ ব্যবহার হইয়া থাকে।

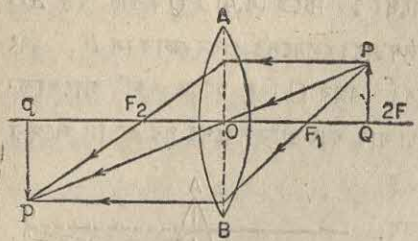
(ii) **বস্তুটি ফোকাসে :** চিত্র (4.5)-এ বস্তু PQ ফোকাস বিন্দু F_1-এ অবস্থিত। P বিন্দু হইতে দুইটি রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে ও আলোককেন্দ্রের মধ্য দিয়া লেনসে প্রতিসরণের পর সমান্তরালভাবে চোখে পড়িবে এবং তখন মনে হইবে যে, রশ্মিগুলি বহুদূরে অবস্থিত কোন বিন্দু হইতে আসিতেছে। অর্থাৎ বস্তুটির প্রতিবিম্ব অসদ্ ও সমশীর্ষ হইবে এবং অসীম দূরত্বে অবস্থিত বলিয়া মনে হইবে।



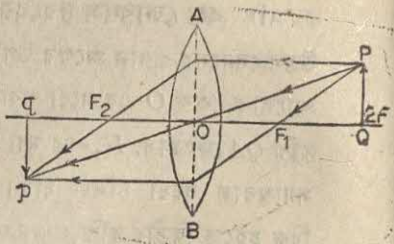
চিত্র 4.5

(iii) **বস্তুটি f ও 2f-এর মধ্যে :** এই অবস্থায় বস্তু PQ-এর প্রতিবিম্বের অবস্থান রশ্মিচিত্রের (চিত্র 4.6) সাহায্যে দেখানো হইল। এক্ষেত্রে

প্রতিবিম্ব, pq লেনসের বিপরীতদিকে $2f$ অপেক্ষা দূরে গঠিত এবং ইহা সদ্‌, অবশীর্ষ (inverted) ও বিবর্ধিত হইবে। ফলে ইহাকে পর্দায় ফেলা যাইবে।



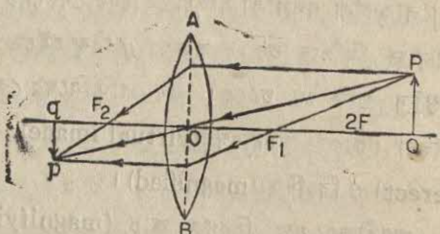
চিত্র 4.6



চিত্র 4.7

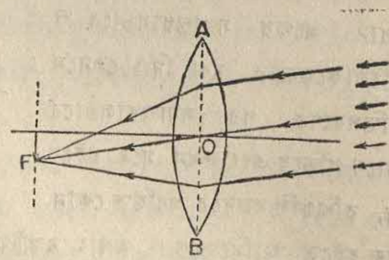
(iv) **বস্তুটি 2f-এ :** এই অবস্থায় বস্তু (PQ)-এর প্রতিবিম্ব pq (চিত্র 4.7) লেনস হইতে সমদূরে গঠিত হইবে এবং ইহা সদ্‌, **অবশীর্ষ ও বস্তুর সমান** হইবে।

(v) **বস্তুটি 2f হইতে কিছু দূরে :** এক্ষেত্রে বস্তু PQ-এর প্রতিবিম্ব, pq-এর অবস্থান (চিত্র 4.8) f ও $2f$-এর মধ্যে হইবে এবং ইহা প্রকৃতিতে সদ্‌, অবশীর্ষ ও বস্তু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হইবে।



চিত্র 4.8

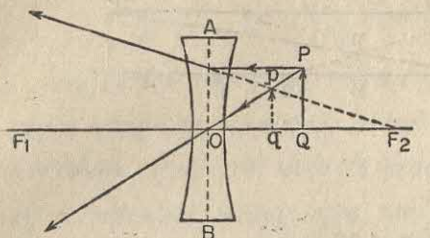
(vi) **বস্তুটি বহু দূরে :** এক্ষেত্রে বস্তু হইতে সমান্তরাল রশ্মিগুলি (চিত্র 4.9) লেনসে প্রতিসৃত হইয়া ইহার ফোকাস তলে মিলিত হইবে, ফলে বস্তুটির প্রতিবিম্ব (সদ্‌ ও অতি-ক্ষুদ্র) ফোকাস তলে গঠিত হইবে।



চিত্র 4.9

লেনসের এই ব্যবহারে সূর্যরশ্মিকে ফোকাসে কেন্দ্রীভূত করিয়া এরূপ উত্তাপ সৃষ্টি করা যায় যে, ইহাতে কাগজ জ্বলিয়া উঠে। সেজন্য উত্তল লেনসকে 'আগুন জ্বালানো কাচ' (burning glass) বলা হয়।

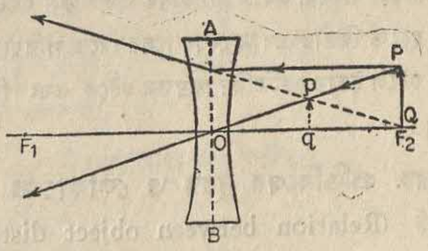
4.3b. **অবতল লেনসে প্রতিবিম্ব গঠন** (Formation of image in a concave lens) :



চিত্র 4.10

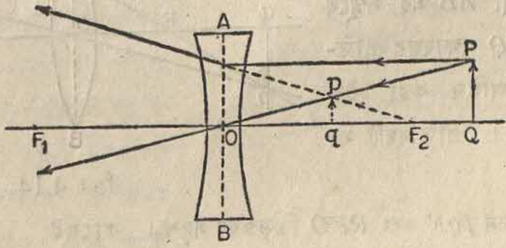
উত্তল লেনসের মত অবতল লেনসের ক্ষেত্রেও বস্তুটিকে (PQ) লেনসের সম্মুখে বিভিন্ন স্থানে বসাইয়া উহার প্রতি-বিম্বের অবস্থান, আকার ও প্রকৃতি রশ্মি-চিত্রের সাহায্যে নিম্নে দেখানো হইল।

(i) বস্তু PQ ফোকাস দূরত্বের মধ্যে (চিত্র 4.10)



চিত্র 4.11

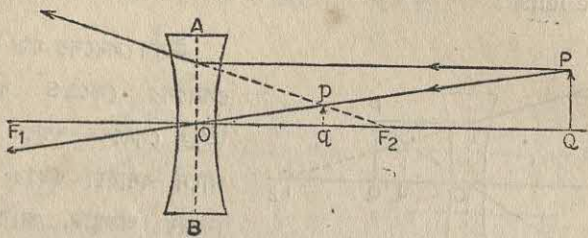
(ii) বস্তু PQ ফোকাসে (চিত্র 4.11)



চিত্র 4.12

(iii) বস্তু PQ ফোকাস হইতে কিছুদূরে (চিত্র 4.12)

(iv) বস্তু PQ ফোকাস হইতে বহুদূরে (চিত্র 4.13)



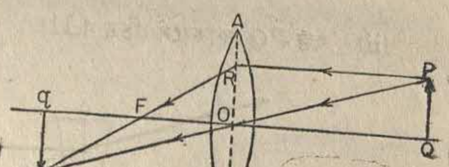
চিত্র 4.13

চিত্র 4.10—4.13 হইতে দেখা যাইতেছে যে, অবতল লেনসের ক্ষেত্রে বস্তুটি (PQ) লেনসের সম্মুখে যে-কোন দূরত্বেই থাকুক না কেন সব সময় ইহার প্রতিবিম্ব **অসদ, সমশীর্ষ** ও **ক্ষুদ্র** হইবে এবং বস্তুটি আলোককেন্দ্র হইতে যত দূরে সরিয়া যাইবে, ইহার প্রতিবিম্ব ততই ক্ষুদ্র হইতে থাকিবে এবং লেনসের কেন্দ্র হইতে দ্বিতীয় প্রধান ফোকাসের দিকে সরিয়া যাইবে। বস্তুটি অসীমে অবস্থিত হইলে ইহার প্রতিবিম্ব ক্ষুদ্রতম হইবে এবং দ্বিতীয় ফোকাস-তলে গঠিত হইবে।

4.4. বস্তুর দূরত্ব, প্রতিবিম্বের দূরত্ব ও ফোকাসের দূরত্বের পারস্পরিক সম্পর্ক (Relation between object distance, image distance and focal length of lens) :

(A) **উত্তল্ লেনস্** (Convex lens) :

4.3a অনুচ্ছেদে বর্ণিত নিয়মে একটি ক্ষুদ্র উন্মেষযুক্ত উত্তল লেনস্, AB-এর সম্মুখে অবস্থিত PQ লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব, pq অঙ্কিত করা হইল (চিত্র 4.14)। প্রতিবিম্বটি সদ্ ও অবশীর্ষ।



চিত্র 4.14

এখন pqF এবং RFO ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ। কাজেই

$$\frac{pq}{Fq}=\frac{RO}{OF}=\frac{PQ}{OF} \quad \therefore \frac{pq}{PQ}=\frac{Fq}{OF} \quad \ldots\ldots(i)$$

অনুরূপে, qpO এবং PQO ত্রিভুজ দুইটিও সদৃশ।

সুতরাং $\frac{pq}{Oq}=\frac{PQ}{OQ}$ $\therefore$ $\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}$ ...(ii)

এখন (i) ও (ii) সমীকরণের মধ্যে তুলনা করিলে,

$$\frac{Fq}{OF}=\frac{Oq}{OQ} \quad \text{বা} \quad \frac{Oq-OF}{OF}=\frac{Oq}{OQ} \quad \ldots\ldots(iii)$$

এখন গোলীয় দর্পণের মত লেনসের ক্ষেত্রেও চিহ্ন সম্বন্ধে একই নিয়ম প্রচলিত আছে অর্থাৎ আলোকরশ্মি যেদিকে যাইতেছে লেনস্ হইতে উহার বিপরীতদিকে দূরত্ব মাপা হইলে ঐ দূরত্বকে ধনাত্মক (positive) ধরা হয় এবং আলোকরশ্মির অভিমুখে দূরত্ব মাপা হইলে সেই দূরত্বকে ঋণাত্মক (negative) ধরা হয়। এই নিয়মে চিত্র 4.14 হইতে,

লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব $=OQ=+u$;

প্রতিবিম্বের দূরত্ব $=Oq=-v$

এবং ফোকাস দূরত্ব $=OF=-f$

এখন (iii) সমীকরণে এই মানগুলি বসাইয়া,

$$\frac{-v-(-f)}{-f}=\frac{-v}{u}, \quad \text{বা} \quad \frac{f-v}{-f}=\frac{-v}{u}$$

বা $uf-uv=vf$,

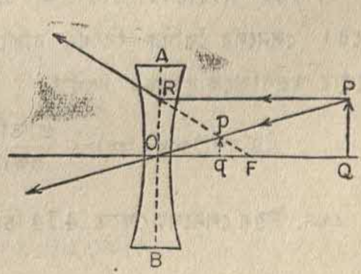
বা $\frac{1}{v}-\frac{1}{f}=\frac{1}{u}$ (uvf দ্বারা ভাগ করিয়া)

বা $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

ইহাই হইল লেনসের লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, প্রতিবিম্বের দূরত্ব ও ফোকাস-দূরত্ব সম্পর্কিত সাধারণ সূত্র।

(B) **অবতল লেনস্** (Concave lens) :

4.3b অনুচ্ছেদে বর্ণিত নিয়মে একটি ক্ষুদ্র উন্মেষযুক্ত অবতল লেনস্ AB-এর সম্মুখে দণ্ডায়মান বস্তু PQ-এর প্রতিবিম্ব pq অঙ্কন করা হইল (চিত্র 4.15)। এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব অসদ্ ও সমশীর্ষ। এখন pqF ও RFO ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ।



চিত্র 4.15

অতএব, $\frac{pq}{qF}=\frac{RO}{OF}=\frac{PQ}{OF}$

বা $\frac{pq}{PQ}=\frac{qF}{OF}\cdots(i)$

আবার, qpO এবং QPO ত্রিভুজদ্বয়ও সদৃশ।

সুতরাং $\frac{pq}{Oq}=\frac{PQ}{OQ}$ বা $\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}\cdots(ii)$

এখন (i) ও ii) সমীকরণ হইতে,

$$\frac{qF}{OF}=\frac{Oq}{OQ} \text{ বা } \frac{OF-Oq}{OF}=\frac{Oq}{OQ}\cdots(iii)$$

এখন চিহ্নের নিয়ম অনুযায়ী,

লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব$=OQ=+u$

প্রতিবিম্বের দূরত্ব$=Oq=+v$

ফোকাস-দূরত্ব$=OF=+f$

(iii) সমীকরণে এই মানগুলি বসাইলে,

$$\frac{f-v}{f}=\frac{v}{u}, \text{ বা } uf-uv=vf,$$

$$\text{বা } \frac{1}{v}-\frac{1}{f}=\frac{1}{u} \text{ (} uvf \text{ দ্বারা ভাগ করিয়া)}$$

$$\text{বা } \frac{1}{\mathbf{v}}-\frac{1}{\mathbf{u}}=\frac{1}{\mathbf{f}}$$

অতএব অবতল লেনসের ক্ষেত্রেও লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, প্রতিবিম্বের দূরত্ব ও ফোকাস-দূরত্ব সম্পর্কিত সূত্র একই।

4.5. রৈখিক বিবর্ধন (Linear magnification):

লক্ষ্যবস্তুর অবস্থানের তারতম্যে প্রতিবিম্বের সাইজ ছোট বা বড় হইতে পারে। লেনসের রৈখিক বিবর্ধন বলিতে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য ও লক্ষ্যবস্তুর দৈর্ঘ্যের অনুপাতকে বুঝায়। অর্থাৎ

$$\text{রৈখিক বিবর্ধন } (m)=\frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য}}{\text{লক্ষ্যবস্তুর দৈর্ঘ্য}}\text{।}$$

এখন, উত্তল লেনসের ক্ষেত্রে (4.14 চিত্রে), $m=\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}=\frac{-v}{+u}=-\frac{v}{u}$

এবং অবতল লেনসের ক্ষেত্রে (4.15 চিত্রে), $m=\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}=\frac{+v}{+u}=\frac{v}{u}$

উত্তল লেনসের ক্ষেত্রে m-এর মান ঋণাত্মক হওয়ার অর্থ প্রতিবিম্ব অবশীর্ষ; কিন্তু অবতল লেনসের ক্ষেত্রে ইহা সমশীর্ষ।

উদাহরণ (Examples) :

(1) কোন উত্তল লেনসের সম্মুখে 80 সে মি. দূরে একটি বস্তু রাখা আছে। লেনস্ হইতে 30 সে.মি. দূরে উহার একটি সদ্ প্রতিবিম্ব গঠিত হইল। লেনসের ফোকাস দূরত্ব ও বিবর্ধন নির্ণয় কর।

উত্তর : উত্তল লেনসে সদ্ প্রতিবিম্ব গঠিত হইতে লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব,

$u=+80$ সে.মি.

$v=-30$ সে.মি.

$f=?$

এখন লেনসের সূত্র হইতে,

$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ বা $-\frac{1}{30}-\frac{1}{80}=\frac{1}{f}$

বা $\mathbf{f=-21{\cdot}8}$ **সে.মি.**।

এবং বিবর্ধন, $m=\frac{v}{u}=-\frac{30}{80}=-\frac{3}{8}$

m ঋণাত্মক হওয়ায় প্রতিবিম্ব অবশীর্ষ এবং লক্ষ্যবস্তুর সাইজের $\frac{3}{8}$ অংশ।

(2) কোন বস্তু হইতে 15 সে.মি. দূরে একটি উত্তল লেনস্ রাখিলে বস্তুটির একটি সদ্ ও চারিগুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। লেনস্টির ফোকাস দূরত্ব কত?

লেনস্টি কতদূরে রাখিলে বস্তুটির একটি অসদ্ ও তিনগুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে?

উত্তর : আমরা জানি, বিবর্ধন, $m=\frac{v}{u}$

বা $4=\frac{v}{15}$, বা $v=60$ সে.মি.

কিন্তু প্রতিবিম্ব সদ্ হওয়ায় $v=-60$ সে.মি.

এখন, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

বা $-\frac{1}{60}-\frac{1}{15}=\frac{1}{f}$ বা $\mathbf{f=-12}$ **সে.মি.**

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $m=3=\frac{v}{u}$

বা $v=3u$

এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব অসদ্ হওয়ায় v এবং u উভয়েই ধনাত্মক হইবে।

$$\therefore \quad \frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \text{ বা } \frac{1}{3u}-\frac{1}{u}=\frac{1}{12}$$

বা $u=8$ সে.মি.

অতএব এক্ষেত্রে লেনস্ হইতে 8 সে.মি. দূরে বস্তুটিকে রাখিতে হইবে।

(3) কোন লেনসের 24 সে.মি. দূরে একটি বস্তু রাখা আছে। লেনস্‌টির একই পার্শ্বে 18 সে.মি. দূরে উহার প্রতিবিম্ব গঠিত হইল। লেনস্‌টির ফোকাস দূরত্ব, প্রতিবিম্বের প্রকৃতি ও বিবর্ধন নির্ণয় কর।

উত্তর : এক্ষেত্রে, $u=+24$ সে.মি.

$v=+18$ সে.মি.

∴ লেনসের সূত্র হইতে,

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \quad \text{বা } \frac{1}{18}-\frac{1}{24}=\frac{1}{f}$$

বা $f=72$ সে.মি.

∴ f-এর মান ধনাত্মক হওয়ায় লেনস্‌টি অবতল।

এখন বিবর্ধন, $m=\frac{v}{u}=\frac{18}{24}=\frac{3}{4}$

∴ প্রতিবিম্বটি আকারে লক্ষ্যবস্তুর $\frac{3}{4}$ অংশ এবং প্রকৃতিতে সমশীর্ষ হইবে।

4.6. অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয় (Conjugate focii) :

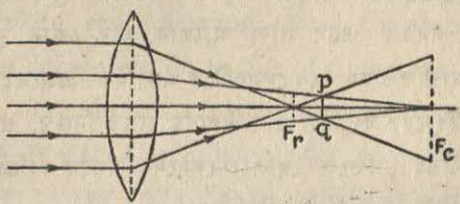
আলোকরশ্মির গতিপথ প্রত্যাবর্তনশীল বলিয়া কোন লেনস্ উহার অক্ষস্থিত কোন বস্তুবিন্দুর সদ্ প্রতিবিম্ব গঠন করিলে ঐ বস্তুবিন্দু এবং প্রতিবিম্বের অবস্থানের অদল-বদল করা যায়—অর্থাৎ প্রতিবিম্বের স্থানে বস্তু রাখিলে বস্তুর অবস্থানে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। কিন্তু অসদ্-বিম্বের ক্ষেত্রে এরূপ হয় না। সে-ক্ষেত্রে বস্তুবিন্দু হইতে আপতিত রশ্মিগুলি এমনভাবে পাঠাইতে হইবে যাহাতে লেনস না থাকিলে উহারা অসদ্-বিম্বের জায়গায় একত্রিত হইতে চেষ্টা করে। তাহা হইলে লেনস্ দ্বারা প্রতিসৃত হইবার পর বস্তুর পূর্বেকার অবস্থানে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

অক্ষস্থিত বস্তুবিন্দু ও উহার প্রতিবিম্বের পারস্পরিক অবস্থান বিনিময় সম্ভব বলিয়া উহাদের **অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয়** বলা হইয়া থাকে।

4.7. লেনসে গোলাপেরণ ও বর্ণাপেরণ (Spherical and chromatic aberrations in a lens) :

আমরা এতক্ষণ পর্যন্ত যে লেনস্ ব্যবহার করিয়াছি তাহাদের প্রত্যেকের উন্মেষ খুব ক্ষুদ্র। ফলে ইহাদের উপর আপতিত আলোকরশ্মিগুলি ইহাদের অক্ষের খুব কাছাকাছি থাকে। কিন্তু অনেকক্ষেত্রে বৃহৎ উন্মেষযুক্ত লেনস ব্যবহার করার প্রয়োজন হয় এবং ইহাদের উপর আপতিত সব রশ্মিগুলি অক্ষের নিকটে থাকে না। ফলে এরূপ লেনসে সৃষ্ট প্রতিবিম্বে কয়েক ধরণের ত্রুটি পরিলক্ষিত হয়। ইহারা যথাক্রমে (i) **গোলাপেরণ** (Spherical aberration) ও (ii) **বর্ণাপেরণ** (Chromatic aberration)।

(i) **গোলাপেরণ :** ধরা যাক, বহু দূরবর্তী একটি বস্তুবিন্দু হইতে সমান্তরাল আলোকরশ্মি কোন বৃহৎ উন্মেষযুক্ত এক উত্তল লেনসের উপর আপতিত হইল (চিত্র 4.16)। লেনসের অক্ষের নিকটস্থ আলোকরশ্মিগুলি (অক্ষাঞ্চলীয় রশ্মিগুলি) লেনস কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া সাধারণ নিয়মে লেনসের অক্ষস্থিত ফোকাসবিন্দু (অক্ষাঞ্চলীয় ফোকাসবিন্দু) F_c-তে মিলিত হইবে। কিন্তু যে সকল রশ্মি অক্ষ হইতে দূরে লেনসের সীমানার কাছাকাছি অঞ্চলে



চিত্র 4.16

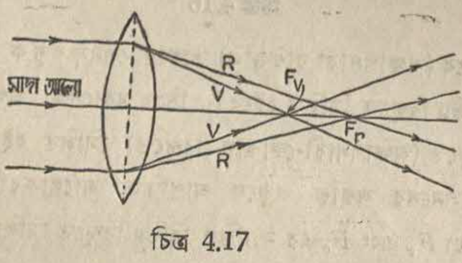
আপতিত হইবে (অক্ষাপসারী রশ্মিগুলি) তাহারা লেনস্ কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া অক্ষস্থিত বিভিন্ন বিন্দুতে মিলিত হইবে। চিত্রে সর্বাপেক্ষা অক্ষাপসারী রশ্মিগুলি F_r বিন্দুতে (অক্ষাপসারী-ফোকাস বিন্দুতে) মিলিত হইয়াছে দেখানো হইয়াছে। লেনসের অন্যান্য অঞ্চলে আপতিত আলোকরশ্মিসমূহ লেনসে প্রতিসৃত হইয়া F_r এবং F_c-এর মধ্যস্থিত বিভিন্ন বিন্দুতে মিলিত হইবে। ফলে বস্তুবিন্দুর বিন্দু প্রতিবিম্ব না হইয়া F_r হইতে F_c পর্যন্ত অঞ্চলে বিস্তৃত প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। প্রতিবিম্বের এই ত্রুটিকেই **গোলাপেরণ বলে।** ইহার ফলে F_r ও F_c-এর মধ্যবর্তী স্থানে অক্ষের সহিত লম্বভাবে কোন পর্দা ধরিলে ঐ পর্দার বিভিন্ন অবস্থানে ইহার উপর বিভিন্ন ঔজ্জ্বল্যের ও আয়তনের বৃত্তাকার

আলোকচ্ছটা পাওয়া যাইবে, যেমন পর্দার F_r অবস্থানে এই বৃত্তের কেন্দ্রবিন্দু হইবে খুব উজ্জ্বল, F_c অবস্থানে এই আলোক বৃত্তের ব্যাসার্ধ হইবে সর্বাধিক এবং এক্ষেত্রেও কেন্দ্রবিন্দু হইবে উজ্জ্বল। ইহাদের মধ্যবর্তী PQ অবস্থানে এই আলোকবৃত্তের ব্যাসার্ধ হইবে সর্বনিম্ন এবং ইহা সর্বত্র সমান ঔজ্জ্বল্যের হইবে। PQ অবস্থানের বৃত্তকে বলা হয় **নিম্নতম বিভ্রান্তির বৃত্ত** (circle of least confusion) এবং ইহাকেই বিন্দুবস্তুর নিকটতম প্রতিবিম্ব বলিয়া ধরা হয়।

এই লেনসের বিভিন্ন অঞ্চল হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ অক্ষের বিভিন্ন বিন্দুতে মিলিত হওয়ার কারণস্বরূপ লেনসটিকে একাধিক ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র প্রিজমের সমষ্টি হিসাবে কল্পনা করা যাইতে পারে। সেক্ষেত্রে অক্ষ হইতে যতদূরে যাওয়া যায় প্রিজমগুলির প্রতিসারক কোণ ততই বৃদ্ধি পায় এবং ফলে ইহাদের ভিতর হইতে নির্গত আলোকরশ্মির চ্যুতিও বেশী হয়। ফলে অক্ষাপসারী অঞ্চলের রশ্মিগুলির চ্যুতি সর্বাধিক হওয়ায় ইহারা অক্ষের উপর সর্বাগ্রে মিলিত হয়। একই কারণে অক্ষের নিকটবর্তী অঞ্চলের রশ্মিগুলি অক্ষের উপর সর্বাপেক্ষা দূরে মিলিত হয়।

লেনসে গোলাপেরণ অপসারণের একাধিক পদ্ধতি আছে।

(*ii*) **বর্ণাপেরণ :** আমরা জানি আলোক হইল সাতটি একবর্ণ আলোকরশ্মির সমষ্টি। এরূপ সাদা আলোক যদি কোন বৃহৎ উন্মেষযুক্ত লেন্সের উপর আপতিত হয় তবে লেনসটিকে একাধিক প্রিজমের সমষ্টি হিসাবে কল্পনা করিলে ইহাদের মধ্যদিয়া প্রতিটি বর্ণের রশ্মির নিজস্ব প্রতিসরণ হইবে এবং ইহারা বিভিন্ন চ্যুতিতে হেলিয়া লেনসের অক্ষকে বিভিন্ন বিন্দুতে ছেদ করিবে (চিত্র 4.17)। বেগুনী রশ্মির সাপেক্ষে কাচের প্রাতসারঙ্কের মান



চিত্র 4.17

সর্বাধিক এবং লাল রশ্মির ক্ষেত্রে সর্বনিম্ন। এই নিয়মে বেগুনী রশ্মিগুলি লেনসের নিকটবর্তী বিন্দু F_v (চিত্র 4.17)-তে একত্রিত হইয়া বেগুনী ফোকাস গঠন করিবে এবং লাল রশ্মিগুলি একটু দূরবর্তী বিন্দু Fr (চিত্র 4.17)-এ একত্রিত হইয়া লাল ফোকাস গঠন করিবে। অতএব দূরবর্তী কোন বস্তু হইতে

সমান্তরাল সাদা আলোকরশ্মি লেনসে প্রতিসরণের পর লেনস হইতে বিভিন্ন দূরত্বে কতকগুলি সদ্ রঙিন প্রতিবিম্ব গঠন করিবে এবং প্রতিবিম্বগুলির আকারও বিভিন্ন হইবে। ফলে, সমগ্র প্রতিবিম্বটি অস্পষ্ট হইয়া যাইবে। একটি পর্দাকে F_v অবস্থানে ধরিলে একটি রঙীন গোলাকার প্রতিবিম্বের মধ্যস্থলে একটি উজ্জ্বল বেগুনী রঙের বিন্দু ও পরিধিতে লাল রঙের চক্র দেখা যাইবে এবং এই দুইয়ের মধ্যে অন্যান্য রঙের চক্রগুলি পরপর দেখা যাইবে। পর্দাটি F_r অবস্থানে ধরিলে প্রতিবিম্বের মধ্যস্থলে উজ্জ্বল লাল রঙের বিন্দু এবং পরিধিতে বেগুনী রঙের চক্র দেখা যাইবে। প্রতিবিম্বের এই ত্রুটিকে **বর্ণাপেরণ** বলে। একমাত্র একাধিক লেনসের সমন্বয়ে লেনস্‌কে বর্ণাপেরণ মুক্ত করা যায়।

প্রশ্নাবলী

1. লেনস্ কাহাকে বলে? ইহা কয় প্রকার? লেনস্-সংক্রান্ত নিম্নলিখিত রাশিগুলির ব্যাখ্যা কর: (a) বক্রতাকেন্দ্র (b) বক্রতা-ব্যাসার্ধ (c) প্রধান অক্ষ, (d) আলোক-কেন্দ্র (e) ফোকাস দূরত্ব (f) উন্মেষ।

[What is a lens? What are the differnt kinds of lenses? Explain the following terms connecting lenses: (a) Centre of curvature, (b) radius of curvature, (c) principal axis (d) optical centre, (e) focal length, (f) aperture.]

2. লেনসে কিভাবে বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠিত হয়? বস্তুর অবস্থানের তারতম্যে উত্তল লেনসের ক্ষেত্রে কিভাবে প্রতিবিম্বের প্রকৃতি ও সাইজের পরিবর্তন হয় ছবি আঁকিয়া দেখাও।

[How an image is formed in a lens? Show with the help of ray-diagram how the nature and the size of the image are changed in the case of a convex lens with the change of position of the object.]

3. রশ্মি-চিত্রের সাহায্যে অবতল লেনসে প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি দেখাও। উত্তল লেনসের ক্ষেত্রে বস্তুর কোন্ অবস্থানে অনুরূপ প্রকৃতির প্রতিবিম্ব হয়?

[Show with the help of ray-diagram the position and the nature of images in the case of a concave lens. For

what position of the object similar nature of image is formed in a convex lens ?]

4. লেনসের নিম্নলিখিত সূত্র প্রতিষ্ঠা কর : $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$; ইহা হইতে বস্তুর প্রতিবিম্বের রৈখিক বিবর্ধনের সম্পর্ক নির্ণয় কর ?

[Deduce the following formula for a lens : $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$; From this relation also deduce the relation of linear magnification of the image of an object.]

5. (i) 5 সে.মি. লম্বা একটি বস্তু একটি উত্তল লেনস্ হইতে 40 সে.মি. দূরে রাখিলে উহার 1 সে.মি. লম্বা একটি প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। লেনসের দূরত্ব কত ?

[An image of length 1 cm. is formed by a convex lens when an object of length 5 cm. is placed at a distance of 40 cms from it. Calculate the focal length of the lens.]

[A : f=6·66 cms. approx.]

(ii) একটি উত্তল লেনসের সম্মুখে 10 সে.মি. দূরে একটি বস্তু রাখিলে লেনসে বস্তুটির তিনগুণ বিবর্ধিত একটি সদ্ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। প্রতিবিম্বের অবস্থান ও লেনসের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

[An object placed 10 cms in front of a convex lens forms a real image three times magnified. Find the image position and focal length of the lens.]

[A : v=30 cms, f=7·5 cms]

6. লেনসের গোলাপেরণ ও বর্ণাপেরণ বলিতে কি বোঝায় আলোচনা কর।

[Discuss what are meant by Spherical and Chromatic aberrations in a lens.]

7. (i) একটি উত্তল ও একটি অবতল লেনস্ উহাদের পৃষ্ঠতল স্পর্শ না করিয়া কিভাবে চিনিবে ?

(ii) লেনসে সৃষ্ট সদ্ ও অসদ্ প্রতিবিম্বে পার্থক্য কি এবং কিভাবে উহারা গঠিত হয় ?

(iii) উত্তল লেনস কিভাবে বিবর্ধক ও আগুন জ্বালানো কাচ হিসাবে ব্যবহৃত হয় ?

(iv) উত্তল লেনসে সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব কিভাবে গঠিত হয় ?

(v) লেনসের অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয় বলিতে কি বোঝায় ?

(vi) লেনসে কিভাবে লক্ষ্যবস্তুর সমান প্রতিবিম্ব গঠিত হয় ?

[(i) How could you distinguish between a concave and convex lens without touching the surfaces ?

(ii) What is the difference between a real and a virtual image formed by a lens ? How they are formed ?

(iii) How a convex lens is used as a magnifying glass and a burning glass ?

(iv) How an erect image is formed in a convex lens ?

(v) What is meant by conjugate focii of a lens ?

(vi) How an image equal in size to that of the object is formed by a lens ?

পঞ্চম অধ্যায়

আলোকের বিচ্ছুরণ ও বর্ণালীতত্ত্ব

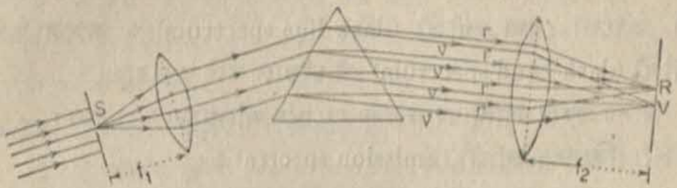
(Dispersion of light and Spectroscopy)

5.1 আলোকের বিচ্ছুরণ ও বর্ণালী সৃষ্টি (Dispersion of light and formation of spectrum) :

1666 খৃষ্টাব্দে বিজ্ঞানী স্যার আইজাক নিউটন সর্বপ্রথম দেখিতে পান যে, সাদা আলোকরশ্মি (সূর্যরশ্মি) কাচের প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইলে উহা সাতটি বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিতে বিভক্ত হইয়া পড়ে। প্রত্যেকটি বর্ণের রশ্মির চ্যুতি আলাদা। এই বর্ণগুলি হইতেছে বেগুনী (Violet), নীল (Indigo), আসমানী (Blue), সবুজ (Green), হলুদে (Yellow), কমলা (Orange), ও লাল (Red)। এগুলির ক্রমিক অবস্থান ইংরাজীতে '*VIBGYOR*' এবং বাংলাতে '**বেনীআসহকলা**' শব্দ হইতে জানিতে পারা যায়। ইহাদের মধ্যে লালবর্ণের রশ্মির চ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম এবং বেগুনীবর্ণের চ্যুতি সর্বাপেক্ষা বেশী। হলুদেবর্ণের চ্যুতি লাল ও বেগুনী চ্যুতির মাঝামাঝি, সেজন্য ইহাকে **মধ্যবর্তী রশ্মি** (mean ray) বলে।

সাদা আলোকের এরূপ বিশ্লিষ্ট হওয়ার কারণ বিভিন্ন বর্ণের আলোকের সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক বিভিন্ন। লালবর্ণের আলোকের বেলায় কাচের প্রতিসরাঙ্ক বেগুনীবর্ণের আলোকের তুলনায় কম। ফলে, বিভিন্ন বর্ণের মিশ্রণে কোন যৌগিক আলোকরশ্মি (সাদা আলোক) কোন প্রতিসারক মাধ্যম দ্বারা প্রতিসৃত হইলে উহা বিভিন্ন বর্ণে বিভক্ত হইয়া পড়িবে। প্রিজমের ভিতর দিয়া যাইবার কালে সাদা আলোকের বিশ্লিষ্ট হইয়া এই সাতটি বর্ণের আলোতে বিভক্ত হইবার প্রণালীকে **আলোকের বিচ্ছুরণ** (dispersion of light) বলে। এই সাতটি বর্ণবিশ্লিষ্ট পটিকে বলা হয় **বর্ণালী** (spectrum)। সাধারণভাবে সাদা আলো প্রিজমে পড়িয়া যে বর্ণালী সৃষ্টি করে তাহাকে **অশুদ্ধ বর্ণালী** (impure specturm) বলে, কারণ এক্ষেত্রে একাধিক সাদা আলোকরশ্মি প্রিজমে বিশ্লিষ্ট হইয়া একাধিক বর্ণালী সৃষ্টি করে এবং ঐ বর্ণালীর একাধিক বর্ণরশ্মি পরস্পরের উপর উপরিপন্ন হওয়ায় সকল বর্ণকে পরিষ্কারভাবে বোঝা যায় না। **শুদ্ধ বর্ণালী** (pure spectrum) পাইতে হইলে নিম্নরূপ ব্যবস্থা করা প্রয়োজন।

একটি ক্ষুদ্র ছিদ্র (S) হইতে সাদা আলোকরশ্মি একটি একটি উত্তল লেনসের উপর এমনভাবে ফেলা হইল যাহাতে ছিদ্রটি লেনসের ফোকাসে থাকে (চিত্র 5.1)। ফলে, আলোকরশ্মি লেনসের ভিতর প্রতিসরণের পর সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইবে। এখন এই রশ্মিগুচ্ছ যদি কোন প্রিজমের উপর ফেলা হয় তবে প্রত্যেক রশ্মি প্রিজমের ভিতর প্রতিসৃত হইয়া বিচ্ছুরণের ফলে নিজ নিজ বর্ণালী সৃষ্টি করিবে। প্রিজমটিকে এমনভাবে রাখা হইল যাহাতে



চিত্র 5.1

বর্ণালীর মধ্যবর্তী হল্‌দে রশ্মির চ্যুতি কম হয়। এখন প্রিজমের উপর আপতিত রশ্মিগুলি সমান্তরাল বলিয়া বিচ্ছুরণের পর বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিগুলি বিভিন্ন কোণে বাঁকিলেও একই বর্ণের রশ্মিগুলি পরস্পর সমান্তরাল হইবে। ফলে, সব বেগুনী রশ্মিগুলি সমান্তরাল, সব লাল রশ্মিগুলি সমান্তরাল, ইত্যাদি হইবে। এখন অন্য একটি উত্তল লেনস্ প্রিজমের পিছনে রাখিলে বিভিন্ন বর্ণের সমান্তরাল রশ্মিগুলি ইহার ভিতর প্রতিসৃত হইয়া এই লেনসের ফোকাসতলে বিভিন্ন বিন্দুতে মিলিত হইবে। ফলে, এই ফোকাসতলে একটি পর্দা রাখিলে সেই পর্দায় সাতটি বর্ণ স্পষ্টভাবে দেখা যাইবে।

উপরি-উক্ত পরীক্ষায় শুদ্ধ বর্ণালী পাইতে হইলে নিম্নলিখিত শর্তগুলি মনে রাখিতে হইবে :

(i) আলোক উৎস যথাসম্ভব ক্ষুদ্র হইবে।

(ii) প্রিজমের উপর আপতিত আলোকরশ্মিকে সমান্তরাল করিতে হইবে।

(iii) প্রিজমকে বর্ণালীর হলদে রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতিতে রাখিতে হইবে।

(iv) প্রতিসৃত রশ্মিগুলিকে কোন উত্তল লেনসের সাহায্যে অভিসারী করিতে হইবে।

5.2 বর্ণালীর প্রকারভেদ (Different types of spectra) :

সাদা আলোক বিশ্লিষ্ট হইয়া যে বর্ণালী সৃষ্টি করে তাহা পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদে আলোচিত হইল। কিন্তু বিভিন্ন উৎস হইতে নিঃসরিত আলোর প্রকৃতি

বিভিন্ন হইতে পারে। এইরূপ আলো হইতে সৃষ্ট বর্ণালীগুলিকে মোটামুটি দুইটি ভাগে ভাগ করা যায়: (i) **নিঃসরণ বর্ণালী** (Emission spectra) এবং (ii) **শোষণ বর্ণালী** (Absorption spectra)।

নিঃসরণ বর্ণালীর আবার কয়েকটি প্রকারভেদ আছে। যেমন, (i) **নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী** (continuous spectra) (ii) **পটি বর্ণালী** (band spectra) ও (iii) **রেখা বর্ণালী** (line spectra)। অনুরূপে, শোষণ বর্ণালীকেও (1) **কালো রেখা বর্ণালী** (dark line spectrum) ও **কালো পটি বর্ণালী** (dark band spectrum) এই দুইভাগে ভাগ করা যায়।

বিভিন্ন প্রকার বর্ণালী সম্বন্ধে এখন সংক্ষেপে আলোচনা করা যাক।

5.2a. নিঃসরণ বর্ণালী (Emission spectra) :

কোন কোন বস্তুকে গরম করিতে থাকিলে অবশেষে উহা ভাস্বর (incandescent) হইয়া আলো নিঃসরণ করে। এই আলো হইতে সৃষ্ট বর্ণালীকে নিঃসরণ বর্ণালী বলে।

(i) **নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী** : কোন ভাস্বর কঠিন পদার্থ—যেমন, উত্তপ্ত টাংস্টেন ফিলামেণ্টযুক্ত বাতি, বৈদ্যুতিক আর্কবাতি (arc lamp) প্রভৃতি এবং উচ্চচাপের ভাস্বর তরল ও গ্যাসীয় পদার্থ এই ধরনের বর্ণালী সৃষ্টি করে। এই ধরনের বর্ণালীতে লাল হইতে বেগুনী সাতটি বর্ণই পরপর নিরবচ্ছিন্নভাবে একটি উজ্জ্বল পটির আকারে সাজানো থাকে এবং এই বর্ণালীর উজ্জ্বলতা প্রভবের (Source) তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে।

(ii) **পটি বর্ণালী** : এই শ্রেণীর বর্ণালীতেও সাতটি বর্ণ থাকে—কিন্তু উহারা নিরবচ্ছিন্ন নয়, উহারা ছাড়া ছাড়া কয়েকটি উজ্জ্বল পটিবিশিষ্ট। প্রকৃতপক্ষে পটিগুলি খুব কাছাকাছি অবস্থিত অনেকগুলি উজ্জ্বল রেখার সমষ্টি। সাধারণত ভাস্বর যৌগে (Compound) এবং নিম্নচাপের গ্যাসে দুর্বল তড়িৎমোক্ষণ পাঠাইলে পটি বর্ণালী সৃষ্টি হয়। পটি বর্ণালী মৌল অথবা যৌগের অণুর বৈশিষ্ট্য—ইহা পর্যালোচনা করিয়া অণুতে পরমাণুগুলি কিভাবে যুক্ত থাকে সে সম্বন্ধে নানা তথ্য জানিতে পারা যায়।

(iii) **রেখা বর্ণালী** : নিম্নচাপে বহু মৌলিক পদার্থের গ্যাস বা বাষ্পকে ভাস্বর করিলে রেখা বর্ণালীর সৃষ্টি হয়। এই বর্ণালীতে এক বা একাধিক উজ্জ্বল রেখা থাকে এবং সবসময় দুইটি রেখার মাঝখানে কিছু অন্ধকার জায়গা থাকে। রেখা বর্ণালী প্রকৃতপক্ষে মৌলিক পদার্থের বৈশিষ্ট্য—প্রত্যেক মৌলিক পদার্থের রেখা বর্ণালীর অবস্থান ও বর্ণ নির্দিষ্ট। ফলে, রেখা বর্ণালী

পর্যালোচনা করিয়া পদার্থ সনাক্তকরণ সম্ভব। যেমন, কোন বুনসেন বার্নারে সাধারণ লবণ ধরিলে সোডিয়াম বাষ্প তৈয়ারী হইবে এবং বার্নারের শিখাটি স্বর্ণ-হলুদ (golden yellow) বর্ণে জ্বলিতে থাকিবে। এই আলোর বর্ণালী সৃষ্টি করিয়া পরীক্ষা করিলে সাদা আলোর বর্ণালীর হলুদ্ অঞ্চলে দুইটি উজ্জ্বল রেখা দেখা যাইবে। এই রেখা দুইটিকে সোডিয়ামের *D*-রেখা বলে। অন্য কোন মৌলিক পদার্থের বর্ণালীতে ঠিক অনুরূপ রেখা সৃষ্টি হইবে না। ফলে, নিম্নচাপে কোন গ্যাসের রেখা বর্ণালী দেখিয়া সেই গ্যাস যে মৌল হইতে সৃষ্ট তাহা সনাক্ত করা সম্ভব।

5.2b. **শোষণ বর্ণালী** (Absorption Spectra) :

1802 খৃষ্টাব্দে বৃটিশ বিজ্ঞানী ওল্যাস্টন (Wolleston) ও 1814 খৃষ্টাব্দে জার্মান বিজ্ঞানী ফ্রনহফার (Fraunhofer) সৌর বর্ণালী বিশেষভাবে পর্যবেক্ষণ করিয়া দেখেন যে উহা প্রকৃতপক্ষে সাতটি বর্ণের নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী নহে ; উহার ভিতর অসংখ্য কালো রেখা রহিয়াছে। এই রেখাগুলিকে **ফ্রনহফার রেখা** (Fraunhofer lines) বলে। এই কালো রেখাগুলির অবস্থান সুনির্দিষ্ট এবং পৃথিবীতে পরিচিত কতকগুলি মৌলিক পদার্থের বর্ণালীর উজ্জ্বল রেখার অবস্থানের সহিত ইহাদের অবিকল মিল আছে। একমাত্র পার্থক্য, রেখাগুলি উজ্জ্বল নহে, কালো। এই বর্ণালীর হলুদ্-কমলা অঞ্চলে অবস্থিত কালো রেখা সোডিয়ামের *D*-রেখার অবস্থান সূচিত করে এবং লাল অঞ্চলে অবস্থিত কালো রেখা অক্সিজেন বর্ণালীর অবস্থান সূচিত করে। এ ছাড়াও সৌর বর্ণালীর আরও অনেক কালো রেখা পৃথিবীর অনেক মৌলিক পদার্থের বর্ণালীর অবস্থানে উদ্ভূত হয়।

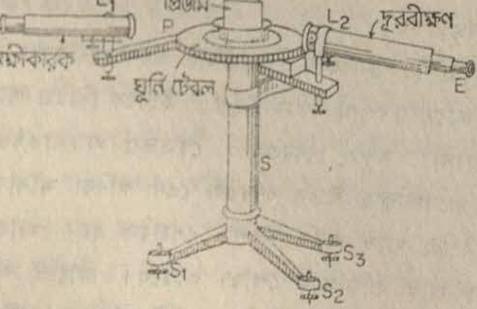
সৌর বর্ণালীর ফ্রনহফার রেখাগুলির উৎপত্তির কারণ নিম্নরূপ। সূর্যের কেন্দ্রস্থল (আলোকমণ্ডল) অত্যন্ত উত্তপ্ত। ইহাকে ঘিরিয়া আছে অপেক্ষাকৃত শীতল গ্যাসীয় অঞ্চল (বর্ণমণ্ডল)। শ্বেততপ্ত আলোকমণ্ডল হইতে সাদা আলোক অপেক্ষাকৃত শীতল বর্ণমণ্ডল ভেদ করিয়া আসার সময় বর্ণমণ্ডলে উপস্থিত বিভিন্ন গ্যাস কর্তৃক অংশত শোষিত হয়। গ্যাসগুলি কেবলমাত্র নিজস্ব বর্ণালীর বর্ণগুলিকে শোষণ করিবে। কাজেই অতিক্রান্ত আলো পৃথিবীতে পৌছাইলে উহার বর্ণালী সম্পূর্ণ নিরবচ্ছিন্ন না হইয়া উহার শোষিত অংশে কালো রেখা দেখা যাইবে। এইগুলিই ফ্রনহফার রেখা। অতএব এই রেখাগুলির অবস্থান হইতে সূর্যে কি কি মৌলিক পদার্থ আছে তাহা ধারণা করা যায়।

অনুরূপে, কোন কঠিন পদার্থ হইতে নির্গত সাদা আলো যদি অপেক্ষাকৃত শীতল বাষ্পের মধ্য দিয়া যায় এবং ঐ বাষ্প যদি পারমাণবিক (atomic) অবস্থায় থাকে তবে ঐ বাষ্প বা গ্যাস ভাস্বর হইলে যে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো বিকীর্ণ করিত, সেই সেই তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো ঐ গ্যাস বা বাষ্প সাদা আলোক হইতে শোষণ করিয়া লইবে। ফলে, অতিক্রান্ত সাদা আলোকের বর্ণালী সম্পূর্ণ নিরবচ্ছিন্ন না হইয়া উহার শোষিত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যগুলির জন্য মাঝে মাঝে কালো রেখার সৃষ্টি হইবে। শ্বেততপ্ত কার্বন-আর্কবাতির সম্মুখে যদি উত্তপ্ত সোডিয়াম বাষ্প রাখা হয় তবে অতিক্রান্ত আলোর বর্ণালীতে স্বর্ণ-হলুদ বর্ণের D-রেখা দুইটির স্থলে কালো রেখা দেখা যাইবে। ইহাদের **কালো রেখা বর্ণালী** বলে।

আবার কোন কঠিন পদার্থ হইতে সাদা আলোক যদি অপেক্ষাকৃত শীতল বস্তুর ভিতর দিয়া যায় এবং ঐ বস্তু যদি আনবিক (molecular) অবস্থায় থাকে তবে ঐ বস্তু ভাস্বর হইলে যে সকল বর্ণের পটি বিকীর্ণ করিত সেই সকল বর্ণ সাদা আলো হইতে উহা শোষণ করিয়া লইবে। ফলে, অতিক্রান্ত সাদা আলোর বর্ণালীতে পূর্বের মত মাঝে মাঝে কালো পটি দেখা যাইবে এবং ঐ কালো পটি ঐ বস্তু ভাস্বর হইলে যে যে স্থানে উজ্জল পটি গঠিত হইত সেই সব স্থানেই সৃষ্ট হইবে। ইহাকেই শোষণ বর্ণালীর **কালো পটি বর্ণালী** বলে।

5.3. বর্ণালী মাপনী (Spectrometer) :

ইহা একটি যন্ত্রবিশেষ। ইহার সাহায্যে বিভিন্ন বর্ণালী সৃষ্টি ও পর্যবেক্ষণ



চিত্র 5.2

করা এবং এ সম্বন্ধীয় নানা মাপজোপ করা যায়। এই যন্ত্রের প্রধান প্রধান অংশগুলি নিম্নরূপ (চিত্র 5.2) :

(i) **অক্ষীকারক** (Collimator) : ইহা একটি ধাতব টিউব। ইহার একপ্রান্তে একটি উত্তল লেনস্ (L_1) আছে এবং অন্যপ্রান্তে একটি সরু টিউব সমোক্ষভাবে ইহার ভিতর ঢোকানো থাকে। এই সরু টিউবের বাহিরের প্রান্তে একটি রেখাছিদ্র (S) লম্বভাবে থাকে। ইহার বিস্তৃতি ইচ্ছামত কমানো-বাড়ানো যায়। এই রেখাছিদ্র (S)-কে লেনস্ (L_1)-এর ফোকাসতলে রাখা হয়।

(ii) **প্রিজম্ টেবিল বা ঘূর্ণি টেবিল** (Prism table or turn table, P): ইহা একটি গোল টেবিল এবং ইহার কেন্দ্রস্থলে একটি প্রিজম্ বসানো থাকে। ইহার কেন্দ্রগত একটি উলম্ব অক্ষের চতুর্দিকে ইহা চক্রাকারে ঘুরিতে পারে। ইহার অবস্থান জানিবার জন্য ইহাতে একটি চক্রাকার স্কেল ও একটি ভার্নিয়ার লাগানো থাকে।

(iii) **দূরবীক্ষণ** (Telescope) : ইহা একটি নভোমণ্ডলীয় (astronomical) দূরবীক্ষণ। ইহাও প্রিজম্ টেবিলের অক্ষের চতুর্দিকে ঘুরিতে থাকে। ইহার অভিলক্ষ্য (Objective lens), L_2-এর ফোকাসতলে বর্ণালীর সৃষ্টি হয় এবং অভিনেত্র (Eye-piece), E-তে বর্ণালীর বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখা যায়।

(iv) **স্ট্যাণ্ড ও লেভেলিং স্ক্রু** (Stand and Levelling Screws) : পুরো যন্ত্রটিকে একটি উলম্ব স্ট্যাণ্ড, S-এর উপর বসাইয়া টেবিলে রাখা হয় এবং ইহার অক্ষই যন্ত্রটির অক্ষ। ইহার তিনটি পায়ের সহিত তিনটি লেভেলিং স্ক্রু (S_1, S_2, S_3) থাকে এবং এগুলি ঘুরাইয়া যন্ত্রটিকে লেভেল করা হয়।

কার্যপ্রণালী (Principle of working) :

এই যন্ত্রের সাহায্যে কোন বর্ণালী গঠন, পর্যবেক্ষণ ও উহার মাপ-জোপ করিতে হইলে যন্ত্রটির বিভিন্ন অংশের মধ্যে কতকগুলি প্রাথমিক সমন্বয় করিতে হয়। যথা :

(i) লেভেলিং স্ক্রু ও স্পিরিট লেভেলের সাহায্যে প্রিজম্ টেবিলকে অনুভূমিক করিতে হইবে এবং সেই সঙ্গে অক্ষীকারক ও দূরবীক্ষণের অক্ষদ্বয়কে একই অনুভূমিক তলে আনিতে হইবে।

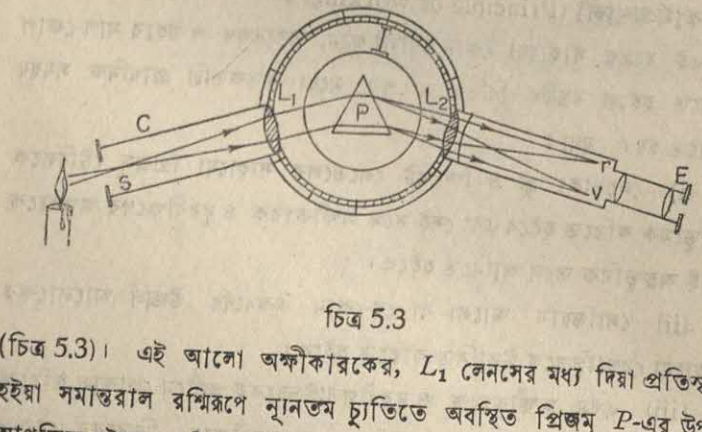
(ii) সোডিয়াম আলো বা যে-কোন একবর্ণের উজ্জ্বল আলোকের সাহায্যে রেখাছিদ্রকে উদ্ভাসিত করিতে হইবে।

(iii) এখন অক্ষীকারক ও দূরবীক্ষণ উভয়কেই অসীমে ফোকাস করিতে হইবে। প্রথমতঃ, দূরবীক্ষণের অভিনেত্রকে দূরবীক্ষণের ভিতরের রেখন-

তারে (cross-wire) ফোকাস করিতে হয়। পরে দূরবীক্ষণকে দূরের কোন বস্তুতে ফোকাস করিতে হয় যাহাতে বস্তুর প্রতিবিম্ব ও দূরবীক্ষণের রেখন-তারের মধ্যে কোন দৃষ্টিভ্রম (parallox) না থাকে। ইহার ফলে দূরবীক্ষণ অসীম হইতে আগত সমান্তরাল রশ্মির জন্য ফোকাস করা হইল। অতঃপর দূরবীক্ষণকে অক্ষীকারকের সহিত একই লাইনে আনিয়া উভয়ের মধ্য দিয়া দেখিয়া রেখাছিদ্রকে আগাইয়া-পিছাইয়া রেখন-তারে ফোকাস করিতে হইবে। ইহার ফলে দূরবীক্ষণ ও অক্ষীকারক উভয়কেই অসীমে ফোকাস করা হইল।

(iv) অতঃপর প্রিজমটিকে প্রিজম্ টেবিলে ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে বসাইতে হয়। প্রিজমটিকে যথাস্থানে বসাইয়া ইহার এক প্রতিসারক পৃষ্ঠকে অক্ষীকারকের অভিমুখী করিতে হইবে এবং অন্য এক পৃষ্ঠের ভিতর দিয়া রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বকে লক্ষ্য করিতে হইবে। এখন প্রিজম্ টেবিলটিকে ধীরে ধীরে একদিকে ঘুরাইলে দেখা যাইবে যে, রেখাছিদ্রের প্রতিবিম্বও একদিকে সরিয়া যাইতেছে। অবশেষে টেবিলের এক বিশেষ অবস্থানে দেখা যাইবে যে, এই প্রতিবিম্ব স্থির হইয়া গেল। এখন টেবিলটিকে আরও ঘুরাইলে দেখা যাইবে যে, প্রতিবিম্বটি বিপরীত দিকে ঘুরিতে থাকিবে। প্রতিবিম্বের এই প্রত্যাবর্তনের মুখে প্রিজম্ টেবিলকে আবদ্ধ করা হয় এবং ইহাই প্রিজমটির ন্যূনতম-চ্যুতির অবস্থান সূচিত করে।

যন্ত্রের বিভিন্ন অংশের এরূপ সমন্বয় সাধনের পর সোডিয়াম আলোর পরিবর্তে রেখাছিদ্র, S-কে সাদা আলো দ্বারা উদ্ভাসিত করিতে হইবে



চিত্র 5.3

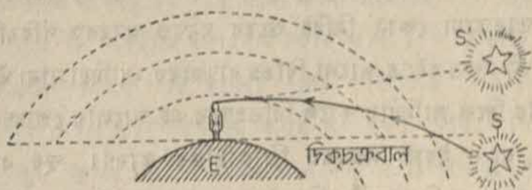
(চিত্র 5.3)। এই আলো অক্ষীকারকের, L_1 লেনসের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইয়া সমান্তরাল রশ্মিরূপে ন্যূনতম চ্যুতিতে অবস্থিত প্রিজম্ P-এর উপর আপতিত হইবে। প্রিজম্ এই সাদা আলোক বিচ্ছুরিত করিবে এবং বিভিন্ন

বর্ণের আলোকরশ্মিগুলি সমান্তরালভাবে নির্গত হইবে। ইহারা অতঃপর দূরবীক্ষণের অভিলক্ষ্য লেনস্ L_2 দ্বারা অভিনেত্র লেনস্ E-এর ফোকাসতলে বিভিন্ন বিন্দুতে মিলিত হইবে। ফলে, অভিনেত্র লেনস্ E-এর পশ্চাতে চোখ রাখিলে $v—r$ বর্ণালী দেখা যাইবে। ইহা শুদ্ধ বর্ণালী।

এই যন্ত্রের সাহায্যে বিভিন্ন বর্ণালী পর্যবেক্ষণ ছাড়াও প্রিজমের প্রতিসারক কোণ ও প্রতিসরাঙ্ক প্রভৃতি মাপা যায়।

5.4 বায়ুমণ্ডলে আলোকের প্রতিসরণ (Atmospheric refraction) :

তোমরা জান, ঊর্ধ্বস্তরের বায়ুর চাপে সাধারণভাবে পৃথিবী-পৃষ্ঠের নিকটস্থ বায়ুর ঘনত্ব বেশী হয় এবং উপরের দিকে কম হয়। ফলে আলো যখন উপর হইতে নীচের দিকে আসে তখন তাহা ক্রমাগতঃ লঘুমাধ্যম হইতে ঘনমাধ্যমে প্রতিসৃত হইতে থাকে। অবশেষে সেই আলো যখন আমাদের চোখে পৌঁছে তখন শেষ আলোকরেখা বরাবর রেখা টানিলে আমরা আলোর



চিত্র 5.4

উৎসের অবস্থিতির আপাত উন্নতি লক্ষ্য করি। এই আপাত উন্নতির পরিমাণ আবার নির্ভর করে আলোক উৎসের অবস্থানের উন্নতির (elevation) উপর। যত দিক্‌চক্রবালের নিকটবর্তী যাওয়া যায় ততই আপাত উন্নতির পরিমাণ বাড়িতে থাকে। দেখা গিয়াছে যে, দিক্‌চক্রবালে ইহার পরিমাণ প্রায় 37′ ($\frac{1}{2}°$-এর কিছু বেশী)।

বায়ুমণ্ডলে আলোকের এই প্রতিসরণের জন্য অনেক সময় অস্তগত নক্ষত্রকেও দেখিতে পাওয়া যায় (চিত্র 5.4)। অনুরূপ কারণে সূর্যোদয়ের সময় সূর্যকে দেখা যাইবার পূর্বেই আমরা তুলনামূলকভাবে নিষ্প্রভ এক বড় থালার ন্যায় ইহার প্রতিবিম্ব দেখি। সূর্যের কোন ব্যাসের প্রান্তদ্বয় পৃথিবীতে 32′ কোণ সৃষ্টি করে। যেহেতু প্রতিসরণের ফলে দিক্‌চক্রবালে আলোকের আপাত উন্নতির পরিমাণ 37′ সেহেতু সূর্যাস্তের সময় সূর্যকে ঠিক দিক্‌চক্র-

বালে মনে হইলেও এসময় প্রকৃতপক্ষে সূর্য সম্পূর্ণভাবে দিকচক্রবালের নীচে অদৃশ্য হইয়া যায়। বায়ুমণ্ডলে প্রতিসরণের ফলে তখন আমরা কেবল সূর্যের প্রতিবিম্ব দেখি।

দিকচক্রবালের নিকট সূর্য ও চন্দ্রকে চেপ্টা দেখায় কেন? (Why the sun and the moon look elliptical near the horizon?)

সূর্য ও চন্দ্র যখন দিকচক্রবালের নিকটে থাকে তখন বায়ুমণ্ডলে আলোকের প্রতিসরণের নিয়মে ইহার উলম্ব ব্যাসের নিম্নপ্রান্তের আপাত উন্নতির পরিমাণ উপর প্রান্তের উন্নতির চেয়ে অধিক হয়। কিন্তু কোন অনুভূমিক ব্যাসের প্রান্তদ্বয়ের আপাত উন্নতির পরিমাণ একই থাকে, কারণ এই দুই প্রান্ত অনুভূমিক তল হইতে সমান উচ্চতায় থাকে। ফলে, উলম্ব ব্যাস দৈর্ঘ্যে ছোট মনে হয় এবং ইহাদের তখন উপবৃত্তাকার মনে হয়।

নক্ষত্রের ঝিকিমিকি (twinkling) আলোর বায়ুমণ্ডলীয় প্রতিসরণের আর একটি উদাহরণ। বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরের ঘনত্বের বিভিন্নতা ছাড়াও উত্তাপের তারতম্যে কোন নির্দিষ্ট স্তরের ঘনত্বও অনবরত পরিবর্তিত হয়। ফলে দূরবর্তী নক্ষত্র হইতে আলো বিভিন্ন বায়ুস্তরের মধ্যদিয়া নানা আঁকাবাঁকা পথে পৃথিবীর দিকে আসিবার কালে বিভিন্নস্তরে এই আলোর শোষণ অনবরত পরিবর্তিত হয়। ইহাই নক্ষত্রের ঝিকিমিকির কারণ। সূর্য বা অন্যান্য গ্রহগুলি অপেক্ষাকৃত নিকটবর্তী বলিয়া ইহাদের উজ্জ্বলতার হ্রাস-বৃদ্ধি বোঝা যায় না। মরুভূমি ও সমুদ্রে **মরীচিকা** সৃষ্টিও বায়ুমণ্ডলীয় প্রতিসরণ ও পূর্ণ প্রতিফলনের একটি উদাহরণ। এ সম্বন্ধে তোমরা প্রতিসরণ অধ্যায়ে বিস্তারিত জ্ঞানলাভ করিয়াছ।

5.5 রামধনু (Rainbow):

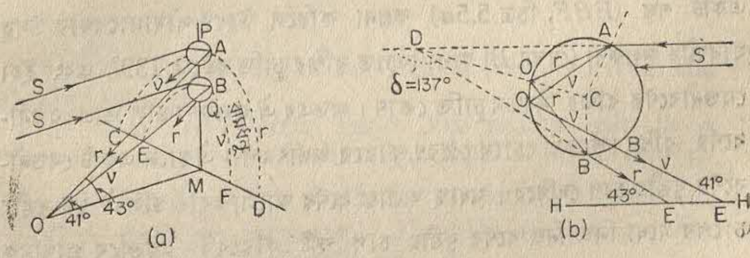
বৃষ্টির পর সকালের দিকে পশ্চিমাকাশে এবং বিকালের দিকে পূর্বাকাশে ধনুকের ন্যায় বাঁকানো বিভিন্ন বর্ণের সারি তোমরা নিশ্চয় লক্ষ্য করিয়াছ। ইহারই নাম **রামধনু**। সূর্যকিরণ মেঘস্থিত জলকণার উপর আপতিত হইয়া প্রতিসৃত, প্রতিফলিত ও বিচ্ছুরিত হয় এবং বিচ্ছুরিত বিভিন্ন বর্ণের রশ্মি বিভিন্ন বিচ্যুতি লইয়া বারিবিন্দু হইতে নির্গত হয়। এই বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিই রামধনু সৃষ্টি করে। সাধারণত বৃষ্টির পর সূর্য আকাশের যেদিকে উঠে রামধনুর সৃষ্টি হয় ঠিক তার বিপরীত দিকে। সেজন্য রামধনুকে দেখার জন্য সবসময় সূর্যের দিকে পিছন করিয়া দাঁড়াইতে হয়।

রামধনু সাধারণত দুই প্রকারের হয়। বারিবিন্দু হইতে নির্গত হইবার পূর্বে আলোকরশ্মি যদি ফোঁটার অভ্যন্তরে একবার প্রতিফলিত হয় তবে **প্রাথমিক রামধনু** (primary rainbow)-র সৃষ্টি হয়। আর যদি আলোক ফোঁটার অভ্যন্তরে দুইবার প্রতিফলিত হয় তবে **গৌণ-রামধনু** (secondary rainbow)-র সৃষ্টি হয়। দুইবার প্রতিফলনের ফলে গৌণ রামধনুর উজ্জ্বলতা মুখ্য রামধনু অপেক্ষা কিছুটা কম হয়, কেননা, দুইবার প্রতিফলনে আলোক বহুলাংশে শোষিত হইয়া যায়।

আবার, সূর্য যত দিকৃচক্রবালের কাছাকাছি থাকে রামধনুর তত বেশী অংশ দর্শকের দৃষ্টিগোচর হয়। সূর্য দিকৃচক্রবাল হইতে উপরের দিকে উঠিলে রামধনু ক্রমশঃ ছোট হইতে থাকে এবং দিকৃচক্রবাল হইতে 43° কোণের বেশী ঊর্ধ্বে সূর্যের অবস্থান হইলে রামধনু সম্পূর্ণ অদৃশ্য হইয়া যায়। এইজন্য একমাত্র সকালে বা বিকালে রামধনু দেখা যায়—দুপুরে কখনো রামধনু দেখা যায় না।

জলবিন্দুতে আলোকের প্রতিসরণ ও প্রতিফলনের সমন্বয়ে আলোকের বিচ্ছুরণ কিভাবে রামধনু সৃষ্টি করে তাহা এখন আলোচনা করা যাক্।

ধরা যাক্, O অবস্থানে দণ্ডায়মান কোন ব্যক্তি P ও Q দুইটি জলবিন্দুতে (একটি অন্যটির উপরে) সৃষ্ট রামধনু লক্ষ্য করিতেছে (চিত্র 5.5a) এবং S অভিমুখে আগত সমান্তরাল সূর্যরশ্মি ঐ দুই জলবিন্দুর উপর আপতিত হইয়া রামধনুর সৃষ্টি করিয়াছে। অতএব OA এবং OB অভিমুখে দর্শক রামধনু



চিত্র 5.5

দেখিতেছে। ধরা যাক, OA ও OB সূর্যরশ্মির অভিমুখের সহিত যথাক্রমে 41° এবং 43° কোণ সৃষ্টি করিয়াছে। চিত্র 5.5b-তে একটি জলবিন্দুতে SA অভিমুখে আপতিত সূর্যরশ্মির বিচ্ছুরণ দেখানো হইল। জলবিন্দুর ভিতর প্রতিসরণের ফলে বিভিন্ন বর্ণের রশ্মির বিচ্ছুরণ হইবে এবং উহারা জলবিন্দুর ভিতর বিভিন্ন দিকে অগ্রসর হইবে। অবশেষে জলবিন্দুর পিছনের পৃষ্ঠে O বিন্দুতে আপতিত হইয়া উহারা সম্মুখের দিকে প্রতিফলিত হইবে এবং জল-

বিন্দুর সামনের পৃষ্ঠ B হইতে বায়ুতে প্রতিসৃত হইবে। এক্ষেত্রে প্রত্যেক বর্ণের রশ্মিরই প্রতিফলন ও প্রতিসরণের ফলে দিক-বিচ্যুতি ঘটিবে। এই বিচ্যুতির পরিমাণ বেগুনী (V) বর্ণের রশ্মির ক্ষেত্রে সর্বাধিক এবং লালবর্ণের ক্ষেত্রে সর্বনিম্ন। ফলে, সাদা সূর্যরশ্মি বিচ্ছুরিত হইয়া বিভিন্ন বর্ণের এক বর্ণালী সৃষ্টি করিবে।

জলবিন্দুটির উপর আপতিত বিভিন্ন সমান্তরাল আলোক-রশ্মির আপতন কোণগুলির মধ্যে সামান্য পার্থক্য থাকিলেও রশ্মিগুলি যদি নিম্নতম চ্যুতির আনুষঙ্গিক আপতন কোণে ফোঁটার উপর আপতিত হয় তবে উহা হইতে উদ্ভূত বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিগুলি একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মিরূপে নির্গত হইবে এবং উহারাই বর্ণালী সৃষ্টি করিবে। অতএব 5.5b চিত্রে সূর্যরশ্মির সমান্তরাল HH লাইনকে অক্ষ এবং দর্শকের অবস্থান E-কে শীর্ষবিন্দু ধরিয়া 43° অর্ধ-শিরঃকোণ (semi-vertical angle) যুক্ত একটি শঙ্কু কল্পনা করিলে উহার সীমারেখার উপর অবস্থিত যাবতীয় জলকণা দ্বারা বিচ্যুত রশ্মির চ্যুতি হইবে 137° এবং ইহা লালবর্ণের নিম্নতম চ্যুতিকোণ নির্দেশ করে। 5.5*a* চিত্রে (অক্ষ OM ; শীর্ষবিন্দু O) ঐ বৃত্তের চাপ, CAD-এর উপর সমস্ত জলকণা (যেমন A) দর্শকের চোখে লালবর্ণের রশ্মি প্রেরণ করিবে—অর্থাৎ দর্শক ঐস্থানে লালবর্ণের বৃত্তীয় চাপ দেখিবে।

অনুরূপে, ঐ একই শীর্ষবিন্দু ও অক্ষ ধরিয়া 41° অর্ধ-শিরঃকোণ লইয়া আর একটি শঙ্কু (EBF, চিত্র 5.5*a*) কল্পনা করিলে উহার সীমানারেখার উপর যাবতীয় জলকণা (যেমন B) দ্বারা বিচ্যুত রশ্মির চ্যুতি হইতে 139° এবং ইহা বেগুনীবর্ণের রশ্মির নিম্নতম চ্যুতি কোণ। অতএব ঐ জলকণাগুলি তীব্র বেগুনী-বর্ণের রশ্মি দর্শকের চোখে প্রেরণ করিবে অর্থাৎ দর্শক ঐস্থানে একটি বেগুনী-বর্ণের বৃত্তীয় চাপ দেখিবে। মধ্যস্থ অন্যান্য বর্ণের আলোকরশ্মিগুলি ঐ দুই বৃত্তীয় চাপের মধ্যে নিজ নিজ বর্ণের বৃত্তীয় চাপ সৃষ্টি করিবে। এইভাবে প্রাথমিক রামধনুর বৃত্তের বাইরের দিকে লাল ও ভিতরের দিকে বেগুনীবর্ণ দেখা যায়।

প্রশ্নাবলী

1. আলোকের বিচ্ছুরণ বলিতে কি বোঝায়? বর্ণালী কি? কিভাবে শুদ্ধ বর্ণালী সৃষ্টি করা যায়?

[What is meant by dispersion of light? What is a spectrum? How pure spectrum can by produced?]

2. আলোকের বিচ্ছুরণের কারণ কি? শুদ্ধ ও অশুদ্ধ বর্ণালীর মধ্যে

পার্থক্য বোঝাও। শুদ্ধ বর্ণালী সৃষ্টি করিতে হইলে কি কি শর্ত পালন করা দরকার?

[What is the cause of dispersion of light? Explain the difference between pure and impure spectrum. What are the conditions for obtainig pure spectrum?]

3. বিভিন্ন প্রকারের বর্ণালী বর্ণনা কর এবং প্রত্যেকের উদাহরণ দাও। একটি ভাস্বর কঠিন পদার্থ ও নিম্নচাপে রাখা গ্যাসপূর্ণ মোক্ষন নলে সৃষ্ট বর্ণালীর সাধারণ স্বরূপ বর্ণনা কর।

[Describe the various forms of spectra that may be obtained, with illustrations. Describe the general pattern of spectra that may be obtained from an incandescent solid and a discharge tube containing gas at low pressure.]

4. নিঃসরণ বর্ণালী ও শোষন বর্ণালী বলিতে কি বোঝায়? নিরবচ্ছিন্ন ও রেখা বর্ণালী কিভাবে সৃষ্টি হয়? এইরূপ বর্ণালী পর্যালোচনা করিয়া কিভাবে উৎসের পদার্থের সনাক্তকরণ করা যায়?

[What are meant by emission and absorption spectra? How continuous and line spectra are produced? How from the study of such spectra the elements of the source can be identified?]

5. নিম্নলিখিত উৎস কর্তৃক সৃষ্ট বর্ণালীর প্রকৃতি নির্ণয় কর: (i) সূর্য, (ii) বৈদ্যুতিক বাতি, (iii) বুনসেন শিখায় রাখা সোডিয়াম লবণ, (iv) নিম্নচাপে রাখা ভাস্বর গ্যাস।

[Describe the nature of the spectra produced from the following sources.

(i) sun, (ii) electric lamp, (iii) sodium salt in a Bunsen flame, (iv) brightly illuminated gas at low pressure].

6. বর্ণালী মাপনী যন্ত্র কি? ইহার গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

[What is a spectrometer? Describe its construction and the principle of working.]

7. বায়ুমণ্ডলে আলোকের প্রতিসরণ বলিতে কি বোঝায়? ইহার ফলে সৃষ্ট কয়েকটি প্রাকৃতিক ঘটনার উল্লেখ ও বর্ণনা কর।

[What is meant by atmospheric refraction? Mention and explain some physical phenomena formed due to atmospheric refraction.]

8. রামধনু কি? ইহা কিভাবে সৃষ্টি হয়?

[What is a rainbow? How it is produced?]

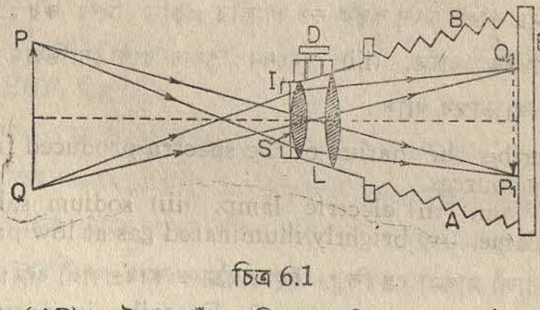
ষষ্ঠ অধ্যায়

আলোকীয় যন্ত্রসমূহ
(Optical Instruments)

6.1 ফটোগ্রাফী ক্যামেরা (Photographic Camera) :

আলোকের বিভিন্ন গুণাবলীর ব্যবহারিক প্রয়োগ ঘটে বিভিন্ন আলোকীয় যন্ত্রে। ইহাদের মধ্যে ফটোগ্রাফী ক্যামেরার উল্লেখ সর্বপ্রথমই করা যাইতে পারে। আমরা লেনসের গুণাবলী হইতে জানি যে, কোন উত্তল লেনসের সম্মুখে উহার ফোকাস দৈর্ঘ্যের দ্বিগুণ অপেক্ষা বেশী দূরত্বে কোন বস্তু রাখিলে লেনস্ ঐ বস্তুর একটি সদ্, অবশীর্ষ ও ক্ষুদ্র প্রতিবিম্ব গঠন করে। লেনসের এই ধর্মই ফটোগ্রাফী ক্যামেরাকে কার্যকর করে। ক্যামেরার বিভিন্ন অংশ-গুলি নিম্নরূপ :

(i) **আলোক নিরুদ্ধ বাক্স** (Light proof chamber) :
ইহা একটি কালো কাপড় বা চামড়ার তৈয়ারী হাপরের মত (চিত্র 6.1)



চিত্র 6.1

বাক্স বিশেষ (AB)। ইহার ভাঁজ নিয়ন্ত্রণ করিয়া বাক্সের দৈর্ঘ্য বাড়ানো-কমানো যায়।

(ii) **ক্যামেরা লেনস্** (Camera lens) :

বাক্সটির সম্মুখদিকে এক বা একাধিক উত্তল লেনস্-সমন্বয় (L) থাকে। ইহারা অপেরণ (aberration) মুক্ত। ইহারা বস্তুর সদ্ প্রতিবিম্ব গঠন করে।

(iii) **রন্ধ্র** (Diaphragm) : লেনসের উন্মেষ বাড়ানো বা কমানোর জন্য ইহা (I) একটি বিশেষ ব্যবস্থা। এই ব্যবস্থায় কতকগুলি ধাতবপাত এমনভাবে সন্নিবিষ্ট থাকে যে, বাহির হইতে উহাদের মধ্যে দূরত্ব বাড়াইয়া-

কমাইয়া রন্ধ্রের আকার ছোট-বড় করা যায়। ফলে, ক্যামেরায় প্রবিষ্ট আলোর পরিমাণ নিয়ন্ত্রিত হয়।

(iv) **সাটার** (Shutter) **:** ইহা একটি ধাতব পর্দা (*S*)। ইহা ক্যামেরার আলোক-সম্পাতের সময় নিয়ন্ত্রিত করে। আধুনিক ব্যবস্থায় আলোক-সম্পাতের সময় $\frac{1}{10}$ হইতে $\frac{1}{100}$ সেকেণ্ড পর্যন্ত নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

(v) **পর্দা** (Screen) **:** লেনসের বিপরীত দিকে বাক্সের অন্যপ্রান্তে একখানি ঘষা কাচ (*E*) থাকে। ইহাকে পর্দা বলে। ছবি তুলিবার পূর্বে এই পর্দার উপর ছবি ঠিকমত পড়িতেছে কিনা দেখা হয়। প্রয়োজনমত বাক্সের দৈর্ঘ্য কমাইয়া বা বাড়াইয়া ইহা করা হয়।

(vi) **প্লেট** (Plate) **:** ইহা একটি কাচের প্লেট। ইহার উপর সিলভার ব্রোমাইড নামক আলোক-সংবেদী (light sensitive) এক রাসায়নিক অবদ্রব (emulsion) মাখানো থাকে।

(vii) **স্লাইড** (Slide) **:** ইহা একটি আলোক-নিরুদ্ধ চ্যাপ্টা কাঠের বাক্স। ইহার ভিতর প্লেটটি বসান থাকে।

ক্যামেরার কার্যপ্রণালী : ক্যামেরার সাহায্যে আলোকচিত্র তুলিতে হইলে সর্বপ্রথম বস্তুটিকে (*PQ*) লেনসের সম্মুখে কিছুটা দূরে রাখিয়া ক্যামেরার দৈর্ঘ্য এমনভাবে ঠিক করিতে হইবে যাহাতে পর্দায় বস্তুর স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পড়ে। অতঃপর রন্ধ্র নিয়ন্ত্রিত করিয়া প্রয়োজনমত আলোক-সম্পাত করিতে হয়। ইহা অবস্থা-পর্যবেক্ষণ ও অভিজ্ঞতার উপর নির্ভর করে। ইহার পর প্লেটসহ স্লাইড-খানি পর্দার গায়ে বসাইতে হয়। অতঃপর সাটারের আলোক প্রক্ষেপের সময় নির্ধারিত করিতে হয়। এখন স্লাইডের সম্মুখের কাঠখানা সরাইয়া লইলে প্লেটে আলো পড়িবে এবং প্লেটে বস্তুটির সদ্ ও অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব (Q_1P_1) গঠিত হইবে।

প্লেটটিকে একটি অন্ধকার ঘরে 'ডেভেলাপার' দ্রবণে 'ডেভেলাপ' করিতে হয়। ইহাতে প্রতিবিম্বটি ধীরে ধীরে স্পষ্ট হইয়া উঠে। অতঃপর ইহাকে জলে ধুইয়া 'হাইপো' (সোডিয়াম থায়োসালফেট) দ্রবণে কিছুক্ষণ ডুবাইয়া রাখা হয়। পরে পরিষ্কার জলে কিছুক্ষণ ধুইয়া ইহাকে বাতাসে শুকাইতে হয়। এইভাবে ফটোগ্রাফের 'নেগেটিভ' প্রস্তুত হয়। এই নেগেটিভের সহিত ফটো-গ্রাফের কাগজ (ব্রোমাইড কাগজ) আঁটিয়া আলোক-সম্পাত করিতে হয়। এই কাগজ পূর্বের মত 'হাইপো' দ্রবণে কিছুক্ষণ ডুবাইয়া পরিষ্কার জলে

ষষ্ঠ অধ্যায়

আলোকীয় যন্ত্রসমূহ

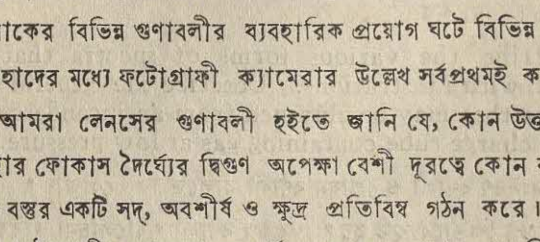
(Optical Instruments)

6.1 ফটোগ্রাফী ক্যামেরা (Photographic Camera) :

আলোকের বিভিন্ন গুণাবলীর ব্যবহারিক প্রয়োগ ঘটে বিভিন্ন আলোকীয় যন্ত্রে। ইহাদের মধ্যে ফটোগ্রাফী ক্যামেরার উল্লেখ সর্বপ্রথমই করা যাইতে পারে। আমরা লেনসের গুণাবলী হইতে জানি যে, কোন উত্তল লেনসের সম্মুখে উহার ফোকাস দৈর্ঘ্যের দ্বিগুণ অপেক্ষা বেশী দূরত্বে কোন বস্তু রাখিলে লেনস্ ঐ বস্তুর একটি সদ্, অবশীর্ষ ও ক্ষুদ্র প্রতিবিম্ব গঠন করে। লেনসের এই ধর্মই ফটোগ্রাফী ক্যামেরাকে কার্যকর করে। ক্যামেরার বিভিন্ন অংশ-গুলি নিম্নরূপ :

(i) **আলোক নিরুদ্ধ বাক্স** (Light proof chamber) :

ইহা একটি কালো কাপড় বা চামড়ার তৈয়ারী হাপরের মত (চিত্র 6.1)



চিত্র 6.1

বাক্স বিশেষ (AB)। ইহার ভাঁজ নিয়ন্ত্রণ করিয়া বাক্সের দৈর্ঘ্য বাড়ানো-কমানো যায়।

(ii) **ক্যামেরা লেনস্** (Camera lens) :

বাক্সটির সম্মুখদিকে এক বা একাধিক উত্তল লেনস্-সমন্বয় (L) থাকে। ইহারা অপেরণ (aberration) মুক্ত। ইহারা বস্তুর সদ্ প্রতিবিম্ব গঠন করে।

(iii) **রন্ধ্র** (Diaphragm) : লেনসের উন্মেষ বাড়ানো বা কমানোর জন্য ইহা (I) একটি বিশেষ ব্যবস্থা। এই ব্যবস্থায় কতকগুলি ধাতবপাত এমনভাবে সন্নিবিষ্ট থাকে যে, বাহির হইতে উহাদের মধ্যে দূরত্ব বাড়াইয়া-

কমাইয়া রন্ধ্রের আকার ছোট-বড় করা যায়। ফলে, ক্যামেরায় প্রবিষ্ট আলোর পরিমাণ নিয়ন্ত্রিত হয়।

(iv) **সাটার** (Shutter) : ইহা একটি ধাতব পর্দা (S)। ইহা ক্যামেরার আলোক-সম্পাতের সময় নিয়ন্ত্রিত করে। আধুনিক ব্যবস্থায় আলোক-সম্পাতের সময় $\frac{1}{10}$ হইতে $\frac{1}{100}$ সেকেণ্ড পর্যন্ত নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

(v) **পর্দা** (Screen) : লেনসের বিপরীত দিকে বাক্সের অন্যপ্রান্তে একখানি ঘষা কাচ (E) থাকে। ইহাকে পর্দা বলে। ছবি তুলিবার পূর্বে এই পর্দার উপর ছবি ঠিকমত পড়িতেছে কিনা দেখা হয়। প্রয়োজনমত বাক্সের দৈর্ঘ্য কমাইয়া বা বাড়াইয়া ইহা করা হয়।

(vi) **প্লেট** (Plate) : ইহা একটি কাচের প্লেট। ইহার উপর সিলভার ব্রোমাইড নামক আলোক-সংবেদী (light sensitive) এক রাসায়নিক অবদ্রব (emulsion) মাখানো থাকে।

(vii) **স্লাইড** (Slide) : ইহা একটি আলোক-নিরুদ্ধ চ্যাপ্টা কাঠের বাক্স। ইহার ভিতর প্লেটটি বসান থাকে।

ক্যামেরার কার্যপ্রণালী : ক্যামেরার সাহায্যে আলোকচিত্র তুলিতে হইলে সর্বপ্রথম বস্তুটিকে (PQ) লেনসের সম্মুখে কিছুটা দূরে রাখিয়া ক্যামেরার দৈর্ঘ্য এমনভাবে ঠিক করিতে হইবে যাহাতে পর্দায় বস্তুর স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পড়ে। অতঃপর রন্ধ্র নিয়ন্ত্রিত করিয়া প্রয়োজনমত আলোক-সম্পাত করিতে হয়। ইহা অবস্থা-পর্যবেক্ষণ ও অভিজ্ঞতার উপর নির্ভর করে। ইহার পর প্লেটসহ স্লাইড-খানি পর্দার গায়ে বসাইতে হয়। অতঃপর সাটারের আলোক প্রক্ষেপের সময় নির্ধারিত করিতে হয়। এখন স্লাইডের সম্মুখের কাঠখানা সরাইয়া লইলে প্লেটে আলো পড়িবে এবং প্লেটে বস্তুটির সদ্ ও অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব (Q_1P_1) গঠিত হইবে।

প্লেটটিকে একটি অন্ধকার ঘরে 'ডেভেলাপার' দ্রবণে 'ডেভেলাপ' করিতে হয়। ইহাতে প্রতিবিম্বটি ধীরে ধীরে স্পষ্ট হইয়া উঠে। অতঃপর ইহাকে জলে ধুইয়া 'হাইপো' (সোডিয়াম থায়োসালফেট) দ্রবণে কিছুক্ষণ ডুবাইয়া রাখা হয়। পরে পরিষ্কার জলে কিছুক্ষণ ধুইয়া ইহাকে বাতাসে শুকাইতে হয়। এইভাবে ফটোগ্রাফের 'নেগেটিভ' প্রস্তুত হয়। এই নেগেটিভের সহিত ফটো-গ্রাফের কাগজ (ব্রোমাইড কাগজ) আঁটিয়া আলোক-সম্পাত করিতে হয়। এই কাগজ পূর্বের মত 'হাইপো' দ্রবণে কিছুক্ষণ ডুবাইয়া পরিষ্কার জলে

এখন, লেনসের সমীকরণ হইতে,

$$\frac{1}{D}-\frac{1}{u}=-\frac{1}{f}$$ [লেনস্ উত্তল বলিয়া]

বা, $$1-\frac{D}{u}=-\frac{D}{f}$$ [D দ্বারা গুণ করিয়া]

বা, $$1-m=-\frac{D}{f}$$ $\left[\text{যেহেতু } \frac{D}{u}=\frac{pq}{PQ}=m, \text{ সমীকরণ (1)}\right]$

বা, $$m=1+\frac{D}{f} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

অতএব লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য, f যত ছোট হইবে বিবর্ধন m তত বৃদ্ধি পাইবে। স্বাভাবিক দর্পণের ক্ষেত্রে নিকট-বিন্দুর দূরত্ব=25 সে.মি. অর্থাৎ $D=25$ সে.মি.। সেক্ষেত্রে $m=1+\frac{25}{f}$। আবার প্রতিবিম্বকে অনেকক্ষণ ধরিয়া দেখিতে হইলে প্রতিবিম্ব বহুদূরে গঠিত হওয়া বাঞ্ছনীয়। সেক্ষেত্রে (1) নং সমীকরণ হইতে বিবর্ধন, $m=\frac{D}{f}=25/f$ [কারণ, তখন $u=f$ হইতে হইবে]।

যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে বিবর্ধন দুই দফায় হয়—প্রথমতঃ, অভিলক্ষ্য কিছু বিবর্ধন সৃষ্টি করে ; দ্বিতীয়তঃ, অভিনেত্র কিছু বিবর্ধন সৃষ্টি করে। উহাদের বিবর্ধনের পরিমাণ যথাক্রমে m_0 ও m_e ধরিলে মোট বিবর্ধন, $m=m_0\times m_e$ হয়।

এখন, $m_0=\frac{v}{u}$ [v=অভিলক্ষ্য হইতে P_1Q_1 প্রতিবিম্বের দূরত্ব (চিত্র 6.2)

u=অভিলক্ষ্য হইতে PQ বস্তুর দূরত্ব (চিত্র 6.2)]

যেহেতু অভিনেত্র (E) কর্তৃক সৃষ্ট প্রতিবিম্ব সরল অণুবীক্ষণে সৃষ্ট প্রতিবিম্বের অনুরূপ, অতএব (2) নং সমীকরণ হইতে, $m_e=1+\frac{D}{f_e}$

কাজেই, $$m=\frac{v}{u}\left(1+\frac{D}{f}\right)=\frac{v}{f_0}\left(1+\frac{D}{f_e}\right)\cdots(3)$$ [কারণ, $u\simeq f_0$]

(3) নং সমীকরণ হইতে বোঝা যায় যে, m-এর মান বৃদ্ধি করিতে হইলে (*i*) f_0 ছোট হইতে হইবে, (***ii***) f_e ছোট হইতে হইবে এবং (*iii*) v বড় হইতে হইবে। অর্থাৎ, লেনস্ দুইটিকে কম ফোকাস দৈর্ঘ্যের হইতে হইবে এবং যন্ত্রের নলের দৈর্ঘ্য যথাসম্ভব বাড়াইতে হইবে।

এই ক্ষেত্রেও শেষ প্রতিবিম্ব যদি অসীমে গঠিত হয় তবে $m_e=\frac{D}{f_e}$

$\therefore\ m=\frac{v}{f_0}\cdot\frac{D}{f_e}\simeq\frac{L.D}{f_0f_e}\cdots$ (4) [কারণ P_1Q_1 চোঙের প্রায় অন্ত-প্রান্তে হয় বলিয়া $v\simeq L=$ চোঙের দৈর্ঘ্য]

উদাহরণ (Examples) :

(1) একটি যৌগিক অণুবীক্ষণের অভিলক্ষ্যের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 0·5 সে.মি. এবং অভিনেত্রের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 2·5 সে.মি.। শেষ প্রতিবিম্ব অভিনেত্র হইতে 25 সে.মি. দূরে গঠিত হইল এবং ইহার বিবর্ধন 330 হইল। লেনস্ দুইটির কেন্দ্রবিন্দুদ্বয়ের মধ্যে দূরত্ব কত?

উত্তর : (4) নং সমীকরণ হইতে লিখিতে পারি,

$$m=\frac{L}{f_0}\cdot\frac{D}{f_e}$$

এক্ষেত্রে $m=330$, $f_0=0·5$ সে.মি. $f_e=2·5$ সে.মি ; $D=25$ সে.মি.

$$\therefore\ 330=\frac{L}{0.5}\times\frac{25}{2·5}=20\times L$$

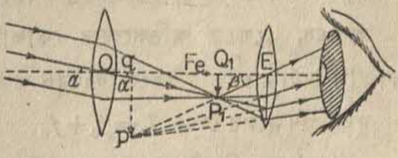
$$\therefore\ L=16·5 \text{ সে.মি.}$$

অর্থাৎ কেন্দ্রবিন্দুদ্বয়ের দূরত্ব= **16·5** সে.মি.

6.3 নভোবীক্ষণ (Astronomical Telescope) :

ইহা একশ্রেণীর দূরবীক্ষণ যন্ত্র, যাহার সাহায্যে গ্রহ, নক্ষত্র ইত্যাদি নভোমণ্ডলীয় জ্যোতিষ্কসমূহকে স্পষ্টভাবে দেখা যায়।

এই যন্ত্রেও অণুবীক্ষণের ন্যায় দুইটি উত্তল লেনস একটি পিতলের চোঙে সমাক্ষভাবে আটকানো থাকে। ইহাদের মধ্যে O উত্তল লেনসটি (চিত্র 6.4) বস্তুর দিকে মুখ করিয়া থাকে—ইহাকে অভিলক্ষ্য বলে। ইহার ফোকাস-দৈর্ঘ্য ও উন্মেষ অপেক্ষাকৃত বড়। E-লেনসটি অভিনেত্র—ইহার পশ্চাতে চোখ রাখিয়া প্রতিবিম্ব দেখা হয়। ইহার ফোকাস্-দৈর্ঘ্য ও উন্মেষ অপেক্ষাকৃত ছোট। স্ক্রু-র সাহায্যে অভিনেত্রকে সামনে-পিছনে সরানো যায়।



চিত্র 6.4

কার্যপ্রণালী : দূরবর্তী বস্তু হইতে সমান্তরাল আলোকরশ্মি সামান্য আনতভাবে অভিলক্ষ্যের উপর আপতিত হইয়া প্রতিসৃত হয় এবং বস্তুর

প্রতিবিম্ব P_1Q_1, অভিলক্ষ্যের ফোকাসতলে গঠিত হয়। ইহা প্রকৃতিতে সদ্, অবশীর্ষ ও ক্ষুদ্র হইবে। এখন P_1Q_1, অভিনেত্রের লেনস্ E-এর পক্ষে বস্তু বলিয়া গণ্য হইবে। অভিনেত্রের অবস্থান যদি এরূপ করা হয় যে, উহার ফোকাস্-দূরত্ব EQ_1-এর সমান হয় তবে P_1Q_1 হইতে রশ্মিগুচ্ছ অভিনেত্রে প্রতিসৃত হইয়া সমান্তরালভাবে নির্গত হইবে। সেক্ষেত্রে P_1Q_1-এর একটি সমশীর্ষ ও বহুগুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হইবে।

বাস্তবক্ষেত্রে অবশ্য অভিনেত্রকে একটু বেশী অভিলক্ষ্যের দিকে ঠেলিয়া দেওয়া হয় যাহাতে P_1Q_1 অভিনেত্র লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্যের ভিতরে পড়িয়া যায় (চিত্র 6.4)। ইহার কারণ শেষ প্রতিবিম্ব চোখের স্পষ্টদর্শনের নিকট-দূরত্বে গঠিত হইলে চোখ ঐ প্রতিবিম্ব বিনা ক্লেশে দেখিতে পাইবে। তখন অভিনেত্র লেনস্, E সরল অণুবীক্ষণের ন্যায় P_1Q_1-এর একটি অসদ্, সমশীর্ষ ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব pq, স্পষ্টদর্শনের নিকট-দূরত্বে গঠিত করিবে। অভিনেত্রের পশ্চাতে চোখ রাখিলে প্রতিবিম্ব pq-কে স্পষ্টভাবে দেখা যাইবে।

বিবর্ধন (Magnification) : এক্ষেত্রেও বিবর্ধন বলিতে প্রতিবিম্ব চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে এবং বস্তু চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাহাদের অনুপাতকে বুঝায়।

ধরা যাক্, অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব চোখে β কোণ (চিত্র 6.4) এবং বস্তু চোখে α কোণ উৎপন্ন করে।

$$\therefore \text{ বিবর্ধন, } \quad m=\frac{\beta}{\alpha}=\frac{\tan\beta}{\tan\alpha}=\frac{P_1Q_1}{Q_1E}\div\frac{P_1Q_1}{Q_1O}=\frac{Q_1O}{Q_1E}=\frac{f_0}{f_e}$$

কারণ এক্ষেত্রে P_1Q_1, F_e-তে অবস্থিত।

(f_0=অভিলক্ষ্যের ফোকাস-দৈর্ঘ্য এবং f_e=অভিনেত্রের ফোকাস-দৈর্ঘ্য)

অতএব, এক্ষেত্রে অভিলক্ষ্যের ফোকাস-দৈর্ঘ্য যত বড় এবং অভিনেত্রের ফোকাস-দৈর্ঘ্য যত ছোট হইবে বিবর্ধনও তত বৃদ্ধি পাইবে।

দূরবীক্ষণ নলের দৈর্ঘ্য, $L=f_0+f_e$

স্পষ্ট-দর্শনের নিকট-দূরত্বে ফোকাসিং-এর বেলায় শেষ প্রতিবিম্ব স্পষ্ট-দর্শনের নিকট-দূরত্ব D-তে গঠিত হয়। অতএব এক্ষেত্রে,

বিবর্ধন, $m=\frac{\beta}{\alpha}=\frac{\tan\beta}{\tan\alpha}=\frac{f_0}{Q_1E}$, $(Q_1E<f_e)$। এখন অভিনেত্র লেনসের বেলায় P_1Q_1 হইল বস্তু এবং pq প্রতিবিম্ব। $\therefore$ লেনসের সূত্র হইতে,

$\frac{1}{D}-\frac{1}{Q_1E}=-\frac{1}{f_e}$, (কারণ $Q_1E=u$),

বা $\frac{1}{Q_1E}=\frac{1}{f_e}+\frac{1}{D}$

$$\therefore\ \ m=\frac{f_0}{Q_1E}=f_0\left(\frac{1}{f_e}+\frac{1}{D}\right)=\frac{f_0}{f_e}\left(1+\frac{f_e}{D}\right)$$

অতএব, এক্ষেত্রে বিবর্ধন ক্ষমতা কিছুটা বৃদ্ধি প্রাপ্ত হয়। এক্ষেত্রে দূরবীক্ষণ নলের দৈর্ঘ্য, $L=f_0+u$. এখন, $\frac{1}{D}-\frac{1}{u}=-\frac{1}{f_e}$ হইতে u-এর মান$=\frac{D.f_e}{D+f_e}$ বসাইলে, $L=f_0+\frac{D.f_e}{D+f_e}$ হইবে।

উদাহরণ (Examples) **:**

(1) একটি নভোবীক্ষণের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস-দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 10 ফুট ও 0·5 ইঞ্চি। যন্ত্রটিকে অসীম দূরত্বে ফোকাসিং এবং স্পষ্ট দর্শনের নিকট-দূরত্ব ফোকাসিং-এ রাখা হইলে বিবর্ধন ও নলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

উত্তর : অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে, $m=\frac{f_0}{f_e}=\frac{10}{\frac{1}{24}}=\mathbf{240}$

$\therefore$ নলের দৈর্ঘ্য $L=f_e+f_0=10+\frac{1}{24}=\mathbf{10{\cdot}04}$ **ফুট** (প্রায়)।

আবার, স্পষ্টদর্শনের নিকট-দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে,

$$m=\frac{f_0}{f_e}\left(1+\frac{f_e}{D}\right)=\frac{10}{\frac{1}{24}}\left(1+\frac{\frac{1}{24}}{\frac{10}{12}}\right)=240\ (1+\tfrac{1}{20})$$

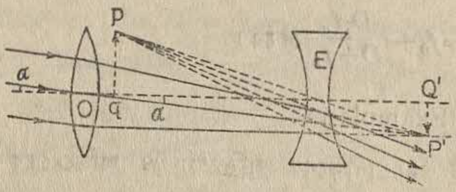
$=252$ [এখানে, $D=10$ ইঞ্চি ধরা হইয়াছে]

$\therefore$ এক্ষেত্রে নলের দৈর্ঘ্য, $L=f_0+\frac{D.f_e}{D+f_e}=10+\frac{\frac{10}{12}\times\frac{1}{24}}{\frac{10}{12}+\frac{1}{24}}=$ **10·04 ফুট** (প্রায়)

6.4 বাইনোকুলারস্ (Binoculars) :

পৃথিবীর উপরিস্থিত কোন বস্তুকে দূর হইতে স্পষ্টভাবে দেখিবার জন্য গ্যালিলিও একপ্রকার দূরবীক্ষণ উদ্ভাবন করেন। ইহার অভিলক্ষ্য লেনসটি নভোবীক্ষণের মত, কিন্তু অভিনেত্র একটি অবতল লেনস্। লেনস্ দুইটি একটি নলে সমাক্ষভাবে আটকানো ও অভিনেত্রকে সামনে-পিছনে সরানোর ব্যবস্থা আছে।

চিত্রে (6.5) এরূপ এক ব্যবস্থায় প্রতিবিম্ব গঠনের পদ্ধতি দেখানো হইল। দূরের বস্তু (PQ) হইতে সমান্তরাল রশ্মি সামান্য আনতভাবে অভিলক্ষ্য লেনস্ O-তে পড়িয়া প্রতিসৃত হয় এবং ইহার ফোকাসতলে $P'Q'$ সদ্বিম্ব গঠন করিবার পূর্বেই অভিনেত্র অবতল লেনস্ (E) কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হয়। ফলে, $P'Q'$ অভিনেত্রের পক্ষে অসদ্ বস্তু (virtual object) বলিয়া গণ্য হয়। এখন অভিনেত্রের অবস্থান যদি এরূপ করা যায় যে, ইহা হইতে $P'Q'$-এর দূরত্ব



চিত্র 6.5

ইহার ফোকাস-দূরত্বের সমান তবে অভিনেত্রে আপতিত রশ্মিগুলি প্রতিসরণের পর সমান্তরাল রশ্মিরূপে নির্গত হইয়া অসীমে বিবর্ধিত ও সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। স্পষ্টদর্শন ফোকাসিং এর জন্য অবশ্য অভিনেত্রকে অভিলক্ষ্যের দিকে আরো কিছুটা ঠেলিয়া দেওয়া হয়, যাহাতে $P'Q'$ অভিনেত্রের ফোকাস দৈর্ঘ্যের কিছু বেশী দূরত্বে থাকে। ফলে, অভিনেত্র অসদ্, বিবর্ধিত ও সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব (pq) স্পষ্ট দর্শনের নিকট-দূরত্বে গঠন করে (চিত্র 6.5)। অভিনেত্রের পশ্চাতে চোখ রাখিয়া এই প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দেখা যায়।

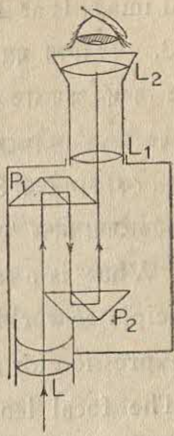


চিত্র 6.6

বাইনোকুলার এইরূপ দুইটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সমন্বয়ে গঠিত হয়। দূরবীক্ষণ যন্ত্র দুইটিকে একটি ফ্রেমে এমনভাবে আবদ্ধ করা হয় যে, উহাদের অক্ষদ্বয় পরস্পর সমান্তরাল থাকিয়া দর্শকের দুই চোখে ঠিকমত লাগিতে পারে (চিত্র 6.6)। একটি স্ক্রু-র সাহায্যে অভিনেত্রের অবস্থান পরিবর্তন করিয়া দূরের বস্তুর দিকে বাইনোকুলারকে ফোকাস করা হইয়া থাকে।

সাধারণ বাইনোকুলারের বিবর্ধন ক্ষমতা খুব বেশী নয়। অধিক বিবর্ধন ক্ষমতাযুক্ত বাইনোকুলারকে **প্রিজম্ বাইনোকুলার** (Prism binoculars) বলে (চিত্র 6.7)। ইহাতে অভিলক্ষ্য L হইতে আলোক এক সমশীর্ষকারী পূর্ণ

প্রতিফলন প্রিজম্ (P_1) কর্তৃক প্রতিফলিত হইয়া দ্বিতীয় এক সমশীর্ষকারী প্রিজমে (P_2) আপতিত হয় এবং পুনরায় পূর্ণ-প্রতিফলিত হইয়া অভিনেত্র লেনস্ সমন্বয়ে (L_1, L_2) প্রবেশ করে। এই ব্যবস্থায় আলোকরশ্মি নলের দৈর্ঘ্য প্রায় তিনবার অতিক্রম করে। ফলে, প্রিজম্‌বিহীন সমদৈর্ঘ্যের যন্ত্রে বিবর্ধনের তুলনায় ইহাতে প্রতিবিম্বের বিবর্ধন অনেকগুণ বেশী হয়। তাছাড়া প্রিজম্ দুইটি পরস্পর সমকোণে ঘোরানো থাকে ; ফলে প্রতিবিম্ব সমশীর্ষই থাকিবে।



চিত্র 6.7

প্রিজম্ বাইনোকুলারেও এরূপ দুইটি যন্ত্রের সমন্বয় করা হইয়া থাকে।

বস্তু সম্বন্ধে ত্রিমাত্রিক ধারণা (three dimensional idea) স্পষ্ট করিবার জন্য দ্বিনেত্র দৃষ্টি (binocular vision) প্রয়োজন।

প্রশ্নাবলী

1. একটি ফটোগ্রাফী ক্যামেরার গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

[Describe the construction and the principle of working of a photographic camera.]

2. অণুবীক্ষণ যন্ত্র বলিতে কি বোঝায় ? একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। ইহার বিবর্ধনের একটি রাশিমালা নির্ধারণ কর।

একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস-দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 2 সে.মি. ও 2·75 সে.মি. ; উহাদের ব্যবধান 15 সে.মি.। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অভিনেত্র হইতে 25 সে.মি. দূরে গঠিত হইলে ইহার বিবর্ধক ক্ষমতা নির্ণয় কর।

[What is a microscope ? Describe the construction and working principle of a compound microscope. Derive an expression for its magnification.

The objective and eye-pieces of a microscope having focal lengths 2 cms. and 2·75 cms. respectively are separated

by a distance of 15 cms. Find the magnifying power when final image is at 25 cms from the eye-piece.] [A : 63·1]

3. দূরবীক্ষণ যন্ত্র কি ? নভোবীক্ষণের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। ইহার বিবর্ধন ক্ষমতার একটি রাশিমালা নির্ণয় কর।

একটি নভোবীক্ষণের অভিলক্ষ্যের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 180 সে.মি. এবং অভিনেত্রের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 3 সে.মি.। অসীম-দূরত্ব ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন ও নলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[What is a telescope ? Describe the construction and principle of working of an Astronomical telescope. Derive an expression for its magnifying power.

The focal lengths of the objective and eye-piece of an Astronomical telescope are 180 cms and 3 cms. Find out the magnification and the tube length when focussed for infinity.]

[A : 60, 183]

4. একটি বাইনোকুলারের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। প্রিজম্ বাইনোকুলারের সুবিধা কি ?

[Describe the construction and principle of working of a binocular. What are the advantages of a prism binocular ?]

সপ্তম অধ্যায়

মনুষ্য চক্ষু (Human Eye)

7.1. মানুষের চোখ ও উহার বর্ণনা (Human eye and its description) ঃ

মানুষের চোখ ঈশ্বরের সৃষ্ট এক জটিল আলোকীয় যন্ত্র। ফটোগ্রাফী ক্যামেরার ন্যায় চোখের সম্মুখে কোন বস্তু রাখিলে চোখের অক্ষিপটে ইহার ছবি ফুটিয়া উঠে এবং সঙ্গে সঙ্গে আমাদের দর্শনের অনুভূতি জন্মে। চোখের বিভিন্ন অংশগুলি নিম্নরূপ (চিত্র 7.1) :

চোখের আকার প্রায় গোলাকার বলের মত—একটি পূর্ণবয়স্ক লোকের ক্ষেত্রে ইহার ব্যাস প্রায় 2·5 সে.মি.। ইহা একটি কোটরের মধ্যে ঘুরিতে পারে। অক্ষিগোলকের দেওয়াল তিনটি স্তরে বিভক্ত : (i) **শ্বেতমণ্ডল** (scherotica), (ii) **কৃষ্ণমণ্ডল** (choroid) ও (iii) **অক্ষিপট** (retina)। শ্বেতমণ্ডল মজবুত, সাদা ও অস্বচ্ছ পদার্থ দ্বারা গঠিত—চোখের বাইরের সাদা অংশ ইহারই অংশবিশেষ। ইহার মধ্যস্থান স্বচ্ছ ও অধিকতর গোলীয়। ইহাকে **অচ্ছোদপটল** (cornea) বলে। শ্বেতমণ্ডল তলার দিকে কৃষ্ণমণ্ডলের সঙ্গে যুক্ত। কৃষ্ণমণ্ডল একটি কালো রঙের পর্দা। অক্ষিপট ছাড়া অন্য কোথাও আলোক পড়িলে কৃষ্ণমণ্ডল তাহা শোষণ করিয়া লয়। সম্মুখের দিকে এই পর্দা



চিত্র 7.1

অচ্ছোদপটল হইতে পৃথক্ হইয়া কালো বা হাল্কা নীলবর্ণ ধারণ করে। এই অংশের নাম **কণিনীকা** (iris)। চোখের রঙ, বলিতে ইহার রঙই বুঝায়। কণিনীকার মধ্যস্থলে একটি ছিদ্র আছে। ইহাকে চোখের **মণি** (pupil) বলে। ইহাকে কালো দেখায়—কারণ ইহার মধ্য দিয়া যে আলো চোখে

প্রবেশ করে তাহার সবটাই কৃষ্ণমণ্ডল কর্তৃক শোষিত হইয়া যায়। যে আলোর সাহায্যে আমরা দেখিতে পাই তাহার সবটাই ইহার মধ্য দিয়া চোখে প্রবেশ করে। অক্ষিগোলকের সর্বাপেক্ষা অন্তর্বর্তী পর্দাকে বলে অক্ষিপট। ইহা কতকগুলি নার্ভতন্ত্র দিয়া তৈয়ারী ও আলোকসুবেদী। ইহা চক্ষু-নার্ভের (optic nerve) সহিত যুক্ত। চক্ষুনার্ভ আবার মস্তিষ্কের সহিত সংযুক্ত। চক্ষুনার্ভ যেখানে অক্ষিপট ত্যাগ করে সেই স্থানটি আলোর উত্তেজনায় মোটেই সাড়া দেয় না। ইহাকে **অন্ধবিন্দু** (Blind spot) বলে। ইহার সন্নিকটে একটি হলদে রংয়ের ছাপ থাকে। ইহার কেন্দ্রস্থল একটু চাপা। ইহাকে **হল্‌দে বিন্দু** (Yellow spot) বলে। ইহার নাম **ফোভিয়া সেন্ট্রালিস্‌** (fovea centralis) এবং ইহা আলোকের সর্বাপেক্ষা সুবেদী।

কণিনীকা ও চোখের মণির পশ্চাতে একটি **উত্তল লেন্স্‌** থাকে। ইহা স্বচ্ছ জৈব পদার্থ দ্বারা গঠিত। লেনসটি অক্ষিগোলকের সহিত কতকগুলি পেশী দ্বারা যুক্ত। এই পেশীগুলির নাম **সিলিয়ারী মাংসপেশী** (ciliary muscles)। এই পেশীগুলির সংকোচন ও প্রসারণের ফলে লেনসের বক্রতা পরিবর্তিত হয় এবং উহা লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিতে সাহায্য করে। দূরের ও কাছের বস্তুকে স্পষ্টভাবে দেখার জন্য এরূপ করার প্রয়োজন হয়। লেনসের সামনে ও অচ্ছোদপটলের মধ্যবর্তী স্থানে একপ্রকার স্বচ্ছ, জলীয় ও লবণাক্ত পদার্থ থাকে। ইহাকে আমরা চোখের জল বলি। এই জলীয় পদার্থের নাম **অ্যাকুয়াস হিউমার** (aqueous humor)। চক্ষু লেনস্‌ ও অক্ষিপটের মধ্যবর্তী অংশে আর একটি থকথকে জেলীর মত পদার্থ থাকে। ইহাকে **ভিট্রিয়াস হিউমার** (vitreous humor) বলে। এই তরলের প্রতিসরাঙ্ক প্রায় 1·33 ও লেনসের প্রতিসরাঙ্ক প্রায় 1·40।

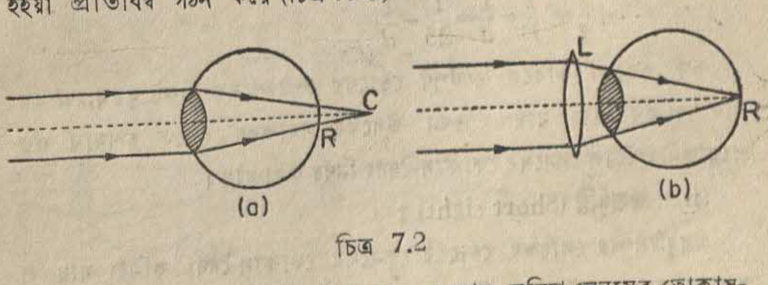
চোখের কার্য (Function of eye)ঃ অচ্ছোদপটল, মণি, লেনস্‌ এবং অ্যাকুয়াস্‌ ও ভিট্রিয়াস্‌ হিউমারের মধ্য দিয়া কোন বস্তু হইতে আলোক চোখে প্রবেশ করে। এই সমস্ত অভিসারী প্রতিসারক মাধ্যমের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইয়া আলোক অক্ষিপটে বস্তুর একটি সদ্‌ ও অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব গঠন করে। কণিনীকার ছিদ্র ছোট-বড় করিয়া আমরা চোখে প্রবিষ্ট আলোর পরিমাণ নিয়ন্ত্রণ করিতে পারি। লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য বাড়াইয়া কমাইয়া আমরা দূরের ও কাছের বস্তু দেখিতে পাই। অক্ষিপটে বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠিত হইলে চক্ষু-নার্ভ ইহার সংবাদ মস্তিষ্কে পৌছাইয়া দেয়। তখন আমাদের বস্তু সম্বন্ধে দর্শনানুভূতি জন্মে। অক্ষিপটে অবশ্য বস্তুর এক অবশীর্ষ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়;

তথাপি মস্তিষ্কের এক অনধিগম্য প্রক্রিয়ার ফলে আমরা বস্তুকে সমশীর্ষ দেখিতে পাই।

7.2. দৃষ্টির ত্রুটি ও উহাদের প্রতিকার (Defects of vision and their remedies) :

স্বাভাবিক অবস্থায় ত্রুটিহীন চোখে আমরা 25 সে.মি. নিকট-দূরত্ব হইতে অসীমে অবস্থিত যে-কোন বস্তু পরিষ্কার দেখিতে পাই। যদি কোন চোখের দৃষ্টিপাল্লা ইহা হইতে কম হয় তবে উহাকে দৃষ্টির ত্রুটি বলা হয়। চোখের ত্রুটি প্রধানতঃ চারি প্রকারের হইতে পারে। ইহারা হইল : (i) **দীর্ঘদৃষ্টি** বা **হাইপারমেট্রোপিয়া** (Long sight or hypermetropia), (ii) **স্বল্প দৃষ্টি** বা **মাইওপিয়া** (Short sight or myopia), (iii) **ক্ষীণ দৃষ্টি** বা **প্রেসবাইওপিয়া** (Far sight or presbiopia) এবং (iv) **বিষম দৃষ্টি** বা **অ্যাসটিগ্‌ম্যাটিসম্** (Astigmatism)। ইহাদের প্রকৃতি ও প্রতিকারের উপায় এখন আলোচনা করিব।

(i) **দীর্ঘ দৃষ্টি** (Long sight) : কোন কারণে যদি চোখের লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য বাড়িয়া যায় অথবা অক্ষি গোলকের সাইজ ছোট হইয়া যায় তবে দূরবর্তী কোন বস্তু হইতে সমান্তরাল আলোকরশ্মি চোখে পড়িলে তাহা চক্ষু-লেনস্ কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া অক্ষিপটের (R) পিছনে C বিন্দুতে মিলিত হইয়া প্রতিবিম্ব গঠন করে (চিত্র 7.2a)। ফলে ঐ বস্তুকে দেখিতে হইলে

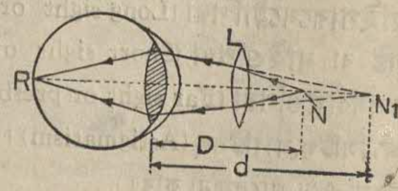


চিত্র 7.2

উপযোজন (accommodation) ক্ষমতার প্রয়োগ করিয়া লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য কমাইতে হয় এবং তখন প্রতিবিম্ব অক্ষিপটে গঠিত হয়। কিন্তু বস্তু ক্রমশঃ নিকটবর্তী হইতে থাকিলে চোখের উপযোজন ক্ষমতার সীমা ছাড়িয়া যায় এবং 25 সে.মি.-এর কিছু বেশী দূরের বস্তুও তখন দৃষ্টিগোচরে আনা যায় না। দৃষ্টির এই ত্রুটিকে **দীর্ঘ দৃষ্টি** বলে।

চিত্র (7.2a) হইতে বোঝা যাইতেছে যে, চক্ষু-লেনস কর্তৃক প্রতিসৃত রশ্মি-গুলিকে আরও একটু অভিসারী করিতে পারিলেই প্রতিবিম্ব অক্ষিপটে (R)

গঠিত হইবে। ইহার একমাত্র উপায় হইল চোখের সম্মুখে উপযুক্ত ফোকাস-দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেনস্ (L) রাখা (চিত্র 7.2b)। এই লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য এমন হইবে যে, স্বাভাবিক চোখের নিকট-বিন্দুতে (N) অবস্থিত কোন বস্তু হইতে আলোকরশ্মি ঐ লেনস্ কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া কিছুটা অভিসারী হইবে এবং সেই আলোক চক্ষু-লেনসে পৌছাইলে রশ্মিগুলি যেন ত্রুটিযুক্ত চোখের নিকট-বিন্দু (N_1) হইতে অপসৃত হইতেছে বলিয়া মনে হইবে (চিত্র 7.3)। তখন চোখ বিনা শ্রান্তিতে স্বাভাবিকভাবে ত্রুটিহীন চোখের নিকট-বিন্দুতে (N) অবস্থিত বস্তুকে দেখিতে পাইবে। উপযুক্ত ফোকাস-দৈর্ঘ্যের উত্তল লেনস্‌যুক্ত চশমা ব্যবহার করিলেই এই ত্রুটি অপসারিত হইবে।



চিত্র 7.3

চিত্র 7.3 হইতে বোঝা যায় যে, N_1 হইল L লেনস্ দ্বারা সৃষ্ট N বস্তুবিন্দুর অসদ্‌বিম্ব। যদি সুস্থ চোখের স্পষ্টদর্শনের নিকট দূরত্ব D হয় এবং ত্রুটিপূর্ণ চোখের স্পষ্টদর্শনের নিকটস্থ দূরত্ব d হয় তবে, $\frac{1}{d}-\frac{1}{D}=-\frac{1}{f}$,

[$f=L$ লেনসের ফোকাস দৈর্ঘ্য]

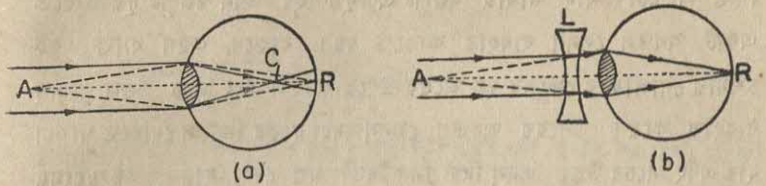
$$\therefore\ \frac{1}{f}=\frac{1}{D}-\frac{1}{d}=\frac{1}{25}-\frac{1}{d}$$

চক্ষু পরীক্ষা করিলে ত্রুটিপূর্ণ চোখের স্পষ্টদর্শনের নিকট দূরত্ব, d-এর মান বাহির করা যায়। তখন উপরের সমীকরণ হইতে চশমার জন্য প্রয়োজনীয় উত্তল লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়।

(ii) **স্বল্পদৃষ্টি** (Short sight) ঃ

স্বল্পদৃষ্টিসম্পন্ন লোকের চোখের লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য কমিয়া যায় বা অক্ষিগোলকের সাইজ বড় হইয়া যায়। সেইজন্য এই ধরনের চোখের দূর-বিন্দু (far point) অসীম অপেক্ষা নিকটবর্তী এবং নিকট-বিন্দু (near point) স্বাভাবিক চোখের নিকট-বিন্দু (25 সে. মি.) অপেক্ষা চোখের অধিকতর নিকটবর্তী। প্রথমোক্ত কারণে এইরূপ চোখ দূরের বস্তু ভালভাবে দেখিতে পায় না। দূরবর্তী বস্তু হইতে প্রায় সমান্তরাল আলোকরশ্মি চোখের লেনসে প্রতিসৃত হইয়া অক্ষিপটের সামনেই (C বিন্দুতে) প্রতিবিম্ব গঠন করে (চিত্র 7.4a)। চোখের উপযোজন ক্ষমতার প্রয়োগেও এই প্রতিবিম্বকে অক্ষিপটে

আনা যায় না। সেইজন্য এইরূপ ত্রুটিকে **স্বল্প দৃষ্টি** বলে। এই ত্রুটি থাকিলে কাছের জিনিস দেখার কোন অসুবিধা হয় না।

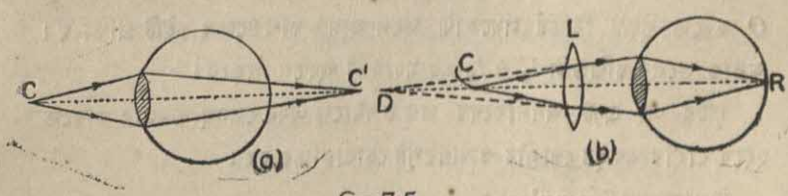


চিত্র 7.4

দৃষ্টির এই ত্রুটি দূর করিতে হইলে চোখের সম্মুখে একটি উপযুক্ত অবতল লেনস্ (L) রাখিতে হইবে (চিত্র 7.4b)। দূরবর্তী বস্তু হইতে সমান্তরাল আলোকরশ্মি এই লেনসে প্রতিসৃত হইয়া আরো কিছুটা অপসারী হইয়া চোখের লেনসে পড়িবে। তখন মনে হইবে আলোকরশ্মি যেন ত্রুটিপূর্ণ চোখের দূরবিন্দু (A) হইতে আসিতেছে। সেই রশ্মিগুচ্ছ চোখের লেনসে প্রতিসৃত হইয়া চোখের অক্ষিপটে প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। অতএব, স্বল্পদৃষ্টি-জনিত ত্রুটি দূর করিবার উপায় হইল অবতল লেনসের চশমা ব্যবহার করা এবং এই সেই লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য ত্রুটিপূর্ণ চোখের দূর-বিন্দুর দূরত্বের সমান হইবে।

(iii) **ক্ষীণদৃষ্টি** (Presbiopia) ঃ

বয়স বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে চোখের মাংসপেশীর উপযোজন ক্ষমতা কমিতে থাকে। ফলে নিকটবর্তী বস্তু আর দৃষ্টিগোচর হয় না (চিত্র 7.5a)। কিন্তু



চিত্র 7.5

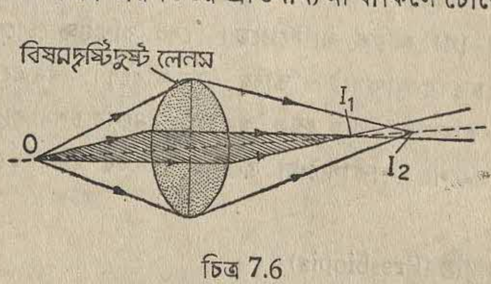
দূরের বস্তু হইতে সমান্তরাল আলোকরশ্মি অক্ষিপটে স্বাভাবিকভাবেই প্রতিবিম্ব গঠন করে। ইহাকে **ক্ষীণদৃষ্টি** বা **চালশে** বলে। এই কারণেই বৃদ্ধ ব্যক্তিদের অনেকসময় বই বা কাগজ বেশ দূরে রাখিয়া পড়িতে দেখা যায়।

এইরূপ ত্রুটি দূর করিতে হইলে চোখের সম্মুখে একটি উত্তল লেনস্ (L) রাখিতে হইবে। ইহা ত্রুটিপূর্ণ চোখের নিকট বিন্দু (C) হইতে আগত আলোকরশ্মিকে অভিসারী করে ; ফলে আলোক যেন ত্রুটিহীন চোখের নিকট-

বিন্দু (D) হইতে আসিতেছে বলিয়া মনে হয় এবং এখন অক্ষিপটে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় (চিত্র 7.5b)। এই ব্যবস্থায় চোখের দূর-বিন্দু অপরিবর্তিত থাকে। কিন্তু ঐ চোখ যদি আবার স্বল্পদৃষ্টি-ত্রুটিযুক্ত হয় তখন স্বল্পদৃষ্টি দূর করিতে একটি অবতল লেনস্ ব্যবহার করিতে হয়। বাস্তবে, এরূপ ব্যক্তি একই চশমার গোলাকার ফ্রেমের দুই অর্ধের উপরে অবতল এবং নিচে উত্তল লেনস্ ব্যবহার করে। উপরের অবতল লেনস্ দিয়া দূরের জিনিস দেখিতে পাওয়া যায় এবং নিচের উত্তল লেনস্ দিয়া নিকটবর্তী বস্তু দেখা যায়। এই ধরনের লেনস্‌কে **'বাইফোকাল লেনস্'** (bifocal lens) বলে।

(iv) **বিষমদৃষ্টি** (Astigmatism) :

এইরূপ ত্রুটিযুক্ত চোখ একটি নির্দিষ্ট সমতলে রক্ষিত অনুভূমিক ও উল্লম্ব রেখা দুইটিকে একইসঙ্গে স্পষ্টভাবে দেখিতে পায় না। চোখের অচ্ছোদ-পটলের সম্মুখতলের বক্রতার ভিতর প্রতিসাম্য না থাকিলে চোখে এই ধরনের



চিত্র 7.6

ত্রুটি দেখিতে পাওয়া যায়। এইরূপ দোষে দুষ্ট চোখে একটি বস্তুবিন্দুর একটি বিন্দু-প্রতিবিম্ব তৈয়ারী হয় না (চিত্র 7.6)। চিত্রে I_1 ও I_2 একটি বস্তুবিন্দু, O হইতে দুইটি বিভিন্ন সমকোণী তলে আগত রশ্মিগুচ্ছের দুইটি প্রতিবিম্ব। অন্যান্য তলের রশ্মিগুলি I_1 ও I_2-এর মধ্যবর্তী অঞ্চলে পড়িবে।

দৃষ্টির এই ত্রুটি অপসারণের জন্য চশমাতে এমন লেনস্ ব্যবহার করিতে হইবে যাহার একপৃষ্ঠ গোলীয় ও অপরপৃষ্ঠ চোঙাকৃতির হয়।

উদাহরণ (Examples) :

(1) এক ব্যক্তির চোখের স্পষ্টদর্শনের নিকট-দূরত্ব 4 ফুট। 2 ফুট দূরের জিনিস স্পষ্টভাবে দেখিতে কিরূপ লেনসের চশমা ব্যবহার করিবে?

উত্তর : চোখের স্পষ্টদর্শনের নিকট-দূরত্ব 4 ফুট হওয়ায় চোখের দীর্ঘদৃষ্টি দোষ ঘটিয়াছে। ইহার প্রতিকার হিসাবে উপযুক্ত উত্তল লেনস্ ব্যবহার করিতে হইবে। এই লেনসের ফোকাস-দৈর্ঘ্য এমন হইতে হইবে যাহাতে 2 ফুট দূরের বস্তুর প্রতিবিম্ব 4 ফুট দূরে গঠিত হয়। অতএব সেক্ষেত্রে,

$u=2$ ফুট, $v=4$ ফুট, $f=$?

$$\therefore \quad \frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \text{ হইতে, } \frac{1}{4}-\frac{1}{2}=\frac{1}{f}$$

$$\text{বা } -\frac{1}{4}=\frac{1}{f} \quad \text{বা } f=-4 \text{ ফুট।}$$

অতএব, ঐ ব্যক্তিকে 4 ফুট ফোকাস-দৈর্ঘ্যযুক্ত উত্তল লেনসের চশমা ব্যবহার করিতে হইবে।

প্রশ্নাবলী

1. মানুষের চক্ষু সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত আলোচনা কর। ছবির সাহায্যে চক্ষুর বিভিন্ন অংশগুলি দেখাও এবং উহাদের প্রত্যেকের কার্যকারিতা বর্ণনা কর।

[Write a short note on human eye. Show with the help of a diagram the chief features of the structure of the eye along with the purpose of each part ?]

2. দৃষ্টির ত্রুটি বলিতে কি বোঝায়? ইহা সাধারণতঃ কয় প্রকার? ইহাদের প্রকৃতি ও প্রতিকারের উপায় কি ?

[What is meant by defect of vision ? What are the possible defects of vision ? Explain the nature of different defects and how they can be removed ?]

3. চোখের স্বল্পদৃষ্টি ও দীর্ঘদৃষ্টি ত্রুটি বলিতে কি বোঝায়? কিভাবে ইহাদের প্রতিকার করা যায়? বৃদ্ধ লোকের চোখের দৃষ্টির ত্রুটি কিরূপ হয়? কিভাবে তাহার প্রতিকার করা হয়?

[What are the short sight and long sight defects of vision ? How these can be removed ? What are the possible defects of vision of an old man ? How these are removed ?

4. (a) একটি স্বল্পদৃষ্টিসম্পন্ন ব্যক্তির চোখের দূরবিন্দু ও নিকটবিন্দু যথাক্রমে 100 সে.মি. ও 18 সে.মি.। দূরবিন্দু অসীমে করিতে হইলে তাহার কি ধরনের লেনসের চশমা ব্যবহার করা প্রয়োজন? এই অবস্থায় নিকটবিন্দু কোথায় থাকিবে?

(b) একটি স্বল্পদৃষ্টিসম্পন্ন ব্যক্তির নিকটবিন্দু 15 সে.মি. দূরে হইলে বিনাক্লেশে 60 সে.মি. দূরের বস্তুকে দেখিতে তাহার কিরূপ লেন্সের চশমা প্রয়োজন ?

[(a) A short-sighted man has far point and near point at 100 cms and 18 cms respectively from his eyes. What lens will he be needed to shift his far point to infinity and what will be his near point with this lens ?]

[A : concave, f=100 cms ; 21·9 cms]

[(b) A short-sighted man has his near point at 15 cms from his eyes. What kind of glass should he use to see with ease an object at 60 cms from his eyes ?]

[A : concave, f=20 cms]

কম্পন ও তরঙ্গ বিজ্ঞান
(Vibrations and Waves)

প্রথম অধ্যায়

সরল দোলগতি
(Simple Harmonic Motion)

1.1. সূচনা (Introduction) :

তরঙ্গের আকারে বিকিরিত তাপশক্তির চলাচল সম্পর্কে তাপবিজ্ঞানে আলোচনা করা হইয়াছে। বিকিরিত তাপশক্তির মত শব্দ এবং আলোক-শক্তিও তরঙ্গের আকারে মাধ্যমের মধ্যে বিস্তারলাভ করে। শব্দশক্তির ক্ষেত্রে বিস্তারের জন্য একটি জড় মাধ্যম দরকার, কিন্তু আলোকশক্তি জড় মাধ্যম ছাড়াও শূন্যস্থানের মধ্য দিয়া চলাচল করিতে পারে। কিন্তু কোন মাধ্যম ছাড়া তরঙ্গের অস্তিত্ব সম্ভব নহে। এই কারণে, আলোক-তরঙ্গের চলাচলের জন্য 'ইথার' মাধ্যমের কল্পনা করা হয়। প্রকৃতপক্ষে, এই সমস্ত শক্তি তরঙ্গায়িত পথে চলাচল করে না—শক্তিগুলি যখন জড় মাধ্যম বা ইথার মাধ্যমের মধ্যে বিস্তৃতি লাভ করে, তখন মাধ্যমের কণাগুলি স্থির অবস্থানের দুইপাশে আন্দোলিত হয় এবং কণাগুলির আন্দোলনজনিত বিন্যাস ঢেউ বা তরঙ্গের আকৃতি গঠন করে। কম্পন ও তরঙ্গবিজ্ঞানে কণাস্তরের কম্পন এবং তজ্জনিত সৃষ্ট তরঙ্গের আচার-আচরণ আলোচনা করা হইবে।

মাধ্যমের মধ্য দিয়া শক্তির সঞ্চালনের সময় কণাগুলি যেভাবে আন্দোলিত হয়, তাহার একটি বিশেষ বৈশিষ্ট্য আছে। শব্দশক্তির ক্ষেত্রে স্বনকের কম্পন মাধ্যমের কণাগুলিতে পর্যায়ক্রমে সঞ্চারিত হয়। সুরশলাকার কম্পনে যখন শব্দসৃষ্টি হয়, তখন শলাকার কম্পন সংশ্লিষ্ট বায়ুস্তরকে আন্দোলিত করে। এই আন্দোলিত বায়ুস্তর তাহার পরবর্তী বায়ুস্তরে কম্পন ছড়াইয়া তাহাকেও আন্দোলিত করে এবং এইভাবে বায়ুস্তরগুলির পর্যায়ক্রমিক আন্দোলনের ফলে শব্দ আমাদের কানের পর্দায় পৌঁছায় ও তাহাকে কাঁপাইয়া অবগত করাইয়া দেয়। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, কোন কণা উহার সাম্য অবস্থান হইতে দূরে সরিয়া যায় না, স্থির অবস্থানের দুইপাশে অর্থাৎ দক্ষিণে ও বামে বা উপর-নীচে দুলিতে থাকে।

এইরূপ কম্পনের ক্ষেত্রে কোন বস্তুকণা যদি নির্দিষ্ট সময়ে একই পথ বারবার অতিক্রম করে, তবে কণার গতিকে **পর্যাবৃত্ত গতি** (periodic motion)

বলে। পর্যাবৃত্ত গতিপথ অবশ্য সরলরৈখিক ছাড়াও বৃত্তীয়, উপবৃত্তীয় ইত্যাদি নানারূপ হইতে পারে। যেমন, পৃথিবী সূর্যের চারিপাশে একটি নির্দিষ্ট সময় পরপর একই গতি সম্পন্ন করে। পৃথিবীর এই গতি পর্যাবৃত্ত, কিন্তু সরলরেখায় নহে। বস্তুকণার কম্পন যখন তরঙ্গের সৃষ্টি করে, তখন পর্যাবৃত্ত গতিপথ সরলরৈখিক হয়। উপরন্তু, এই সরলরৈখিক পর্যাবৃত্ত গতির আরও বৈশিষ্ট্য আছে এবং এই সমস্ত কণার গতিকে সরল দোলগতি বলা হয়। নিম্নে সরল দোলগতি সম্পর্কে আলোচনা করা হইল।

1.2. সরল দোলগতি ও ইহার বৈশিষ্ট্য (Simple Harmonic Motion and its Characteristics) :

যদি কোন পর্যাবৃত্ত গতিসম্পন্ন বস্তুকণার উপর ক্রিয়াশীল বল বা তজ্জনিত সৃষ্ট ত্বরণ কণার গতিপথের মধ্য অবস্থান বা স্থির অবস্থানের অভিমুখী হয় এবং যে-কোন মুহূর্তে উহার ত্বরণ সেই মুহূর্তে স্থির অবস্থান হইতে কণার সরণের সমানুপাতিক হয়, তবে বস্তুকণার ঐ গতিকে সরল দোলগতি বলে।

সুতরাং সরল দোলগতির নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি বর্তমান :

(i) সরল দোলগতি একটি পর্যাবৃত্ত গতি (কিন্তু সকল পর্যাবৃত্তগতি সরল দোলগতি নহে)।

(ii) কণার ত্বরণ সর্বদা গতিপথের মধ্যে-অবস্থান বা স্থির-অবস্থান অভিমুখী হয়।

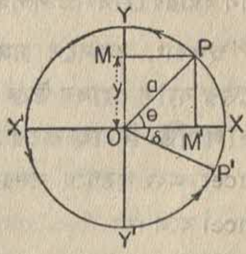
(iii) যে-কোন মুহূর্তে কণার ত্বরণ উহার সরণের সমানুপাতিক। সরণ কণার স্থির অবস্থান হইতে মাপিতে হয়।

কণার উপর ক্রিয়াশীল বলের প্রকৃতির উপর কণার গতিপথ সরলরৈখিক বা কৌণিক হয়। কম্পিত সুরশলাকার বাহুর গতি, *U*-টিউবে জলতলের আন্দোলন, ইত্যাদি রৈখিক দোলগতির উদাহরণ। ক্ষুদ্র বিস্তারে সরল দোলকের গতি, চৌম্বক ক্ষেত্রে সূতা দ্বারা ঝুলান চুম্বকের গতি কৌণিক দোলগতির উদাহরণ। আমরা এখানে সরল রৈখিক দোলগতি সম্পর্কেই মাত্র আলোচনা করিব।

1.3 সরল দোলগতির জ্যামিতিক প্রকাশ (Geometrical representation of a Simple Harmonic Motion) :

সরল দোলগতি সম্পর্কে সম্যক্ ধারণা করিতে হইলে ইহার জ্যামিতিক প্রকাশ বলা দরকার। বৃত্তপথে যখন একটি বিন্দু সঞ্চরমান হয়, তখন ঐ

বৃত্তের একটি ব্যাস বরাবর সঞ্চরমান বিন্দুটি হইতে অঙ্কিত লম্বের পাদবিন্দুও সঞ্চরমান হয়। মনে কর, X হইতে একটি বিন্দু P যেন সমহার কৌণিক বেগ ω লইয়া $XPYX'Y'$ বৃত্তপথে সঞ্চরমান (চিত্র 1.1)। যে-কোন সময়ে ইহার অবস্থান, ধরা যাক, P হইতে অঙ্কিত PM রেখা YY' ব্যাসের উপর লম্ব। এখন P বিন্দুটি যখন বৃত্তপথে Y বিন্দুতে পৌছায়, M বিন্দুটিও ততক্ষণে Y বিন্দুতে পৌছায়। আবার, Y হইতে চলিতে চলিতে P বিন্দু যখন X'-এ পৌছায়, M তখন O বিন্দুতে আসে। P বিন্দু বৃত্তপথে X' হইতে X-এ ফিরিয়া আসিলে M বিন্দু O হইতে Y' বিন্দুতে গিয়া আবার O বিন্দুতে ফিরিয়া আসে। তাহা হইলে, P বিন্দুর বৃত্তপথে সমদ্রুতির সঙ্গে সঙ্গে M বিন্দু YY' ব্যাস বরাবর O বিন্দুর দুইপাশে যাতায়াত করে। অর্থাৎ, M বিন্দুর গতি দোলায়িত (oscillatory)। আবার P বিন্দু একটি নির্দিষ্ট সময়ে বৃত্তপথ পরিভ্রমণ করায় M বিন্দুটির দোলনকাল নির্দিষ্ট, অর্থাৎ, M বিন্দুর গতি পর্যাবৃত্ত গতি।



চিত্র 1.1

P বিন্দু হইতে YOY' ব্যাসের পরিবর্তে যদি XOX' ব্যাসের উপর PM' লম্ব টানা হয়, তবে লম্বের পাদবিন্দু M' বিন্দুটিও XOX' ব্যাস বরাবর অনুরূপ গতি সম্পন্ন করিবে।

এখন যদি দেখা যায় যে, M বা M' বিন্দুর যে-কোন মুহূর্তে ত্বরণ উহার সরণের সমানুপাতিক এবং ত্বরণ সর্বদা মধ্য-অবস্থান O বিন্দুর প্রতি উদ্দিষ্ট, তবে উহার গতিকে সরল দোলগতি বলা যাইবে।

ধর, বৃত্তের ব্যাসার্ধ $OP=a$ এবং বৃত্তপথে P বিন্দুর সমদ্রুতি $V(=\omega a)$। P বিন্দুটি X বিন্দু হইতে যাত্রা শুরু করিয়া 't' সময়ে যেন P অবস্থানে আসিয়াছে। OP ব্যাসার্ধ-ভেক্টর বা দূরক (radius vector) X-অক্ষের সহিত θ কোণ করিলে ঐ সময়ে M বিন্দুর সরণ $(=OM)$, $y=a \sin \theta$.

P বিন্দুতে অভিকেন্দ্র ত্বরণ$=\dfrac{v^2}{a}$ এবং ইহা PO বরাবর সক্রিয়।

YO বরাবর এই ত্বরণের বিশ্লেষিত অংশ$=\dfrac{v^2}{a}\cos OPM'$

$$=\frac{v^2}{a}\cos(90°-\theta)=\frac{v^2}{a}\sin\theta=\frac{v^2}{a^2}\,a\sin\theta=\frac{v^2}{a^2}\,y=\omega^2 y$$

এবং ইহাই M বিন্দুটির t সময়ে ত্বরণের মান। ω-র মান স্থির বলিয়া M বিন্দুর ত্বরণ $\propto y$ এবং এই ত্বরণ MO অভিমুখী অর্থাৎ মধ্য অবস্থান O বিন্দুর প্রতি উদ্দিষ্ট।

দেখা যাইতেছে, M বিন্দুর গতি সরল দোলগতির সকল প্রয়োজনীয় বৈশিষ্ট্যের অধিকারী। একই ভাবে প্রমাণ করা যায় যে, M' বিন্দুটিও XOX' ব্যাস বরাবর দোলগতি সম্পন্ন করিবে।

সুতরাং, বৃত্তপথে সমকৌণিক বেগে সঞ্চরমান বিন্দু হইতে ঐ বৃত্তের ব্যাস বরাবর উক্ত বিন্দু হইতে অঙ্কিত লম্বের পাদবিন্দু সরল দোলগতি নির্বাহ করে। উক্ত বৃত্তকে নির্দেশ বৃত্ত (circle of reference) এবং বৃত্তপথে সঞ্চরমান বিন্দুটিকে নির্দেশ-কণা (point of reference) বলে।

1.4. কয়েকটি প্রয়োজনীয় রাশি এবং সরল দোলগতির সমীকরণ (Some useful terms and the equation of Simple Harmonic Motion) :

(a) **সরণ** (Displacement) : সরল দোলগতিসম্পন্ন বস্তুকণার কোন মুহূর্তে সরণ বলিতে ঐ মুহূর্তে স্থির বা মধ্য অবস্থান হইতে কণার দূরত্বকে বোঝায়। উপরি-উক্ত চিত্রে t সময়ে M বিন্দুর সরণ, $y(=a \sin \theta)$।

(b) **বিস্তার** (Amplitude) : মধ্য-অবস্থান হইতে কণার চরম (maximum) সরণকে বিস্তার বলে। M বিন্দুর বিস্তার নির্দেশ বৃত্তের ব্যাসার্ধের সমান $(=a)$।

(c) **দোলনকাল** (Time period) : কণার একবার পূর্ণ দোলনের জন্য যে সময় লাগে তাহাকে কণাটির দোলনকাল বলা হয়।

বৃত্তপথে P বিন্দুর ω বেগে একবার সম্পূর্ণ আবর্তনের জন্য T সময় লাগিলে, $T=\frac{2\pi}{\omega}$ এবং স্পষ্টতই O বিন্দু হইতে যাত্রা শুরু করিয়া M বিন্দুর একবার পূর্ণ দোলন করিতে একই সময় লাগিবে। সুতরাং M বিন্দুর দোলনকালও T।

(d) **কম্পাঙ্ক** (Frequency) : এক সেকেণ্ডে কোন কণা যতবার পূর্ণ দোলন বা স্পন্দন করিতে পারে, তাহাকে উহার কম্পাঙ্ক বলে। P বিন্দুটি 1 সেকেণ্ডে n বার পূর্ণ আবর্তন করিলে $\omega=2\pi n$ এবং M বিন্দুটিও 1 সেকেণ্ডে n বার পূর্ণ দোলন করিবে।

সুতরাং, M বিন্দুর কম্পাঙ্ক, $n=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{1}{T}$.

(e) **দশা** (Phase) : যে-কোন সময়ে কোন গতিশীল কণার দশা বলিতে, ঐ সময়ে কণার গতির অবস্থাকে বুঝায়। দশার সাহায্যে কণা আন্দোলনের কোন্ স্তরে আছে তাহা বোঝানো হয়। অর্থাৎ, ঐ সময়ে কণাটির অবস্থান, সরণের অভিমুখ ইত্যাদি স্পষ্ট করিয়া বলিতে হয়। দুইটি বস্তুকণা সমদশাসম্পন্ন (in phase) হইলে, যে-কোন সময়ে উহারা নিজ নিজ দোলনের একই পর্যায়ে থাকে এবং একই মুহূর্তে নিজেদের মধ্য-অবস্থান একই অভিমুখে অতিক্রম করে। উহাদের গতিবেগ বা বিস্তার সমান না হইলেও কিছু যায় আসে না। আবার, দুইটি বস্তুকণা বিপরীতদশাসম্পন্ন (in opposite phases) হইলে, একই মুহূর্তে উহারা নিজেদের মধ্য-অবস্থান বিপরীত অভিমুখে অতিক্রম করে। একই সময়ে একটি কণা নিজ বিস্তারের সর্বদক্ষিণ প্রান্তে উপস্থিত থাকিলে, অপরটি নিজ বিস্তারের সর্ববাম প্রান্তে উপস্থিত থাকে।

কণার দশা সাধারণতঃ ব্যাসার্ধ-ভেক্টর নির্দিষ্ট ব্যাসের সহিত যে কোণ উৎপন্ন করে, তাহার দ্বারা বা দোলনকালের ভগ্নাংশ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। 1.1 চিত্রে M কণার দশা $\theta=\omega t=\frac{2\pi}{T}t$, কণাটি যখন Y বিন্দুতে আসিবে, তখন দশা $\theta=\frac{\pi}{2}$ অথবা $\frac{T}{4}$.

সময় গণনার মুহূর্তে বস্তুকণার কোন দশা থাকিলে তাহাকে প্রারম্ভিক দশা বা 'ইপক' (epoch) বলে। সাধারণতঃ দশা কোন প্রমাণ অবস্থান হইতে মাপা হয়। যেমন 1.1 চিত্রে P বিন্দু যখন X অবস্থানে, তখন হইতে দশা-কোণ মাপা হইয়াছে। এখন যদি P বিন্দু যখন P' অবস্থানে ছিল তখন হইতে সময় গণনা করা হয়, তবে গণনার মুহূর্তে দেখা যায় OP' দূরক X-অক্ষের সহিত δ কোণ উৎপন্ন করিয়াছে। δ-কে তখন প্রারম্ভিক দশা বলা হইবে। P' হইতে P বিন্দুতে আসিতে t সময় লাগিলে $\angle POP'=\omega t=\theta+\delta$; অথবা, $\theta=\omega t-\delta$

সুতরাং $y=a\sin\theta=a(\omega t-\delta)$

আবার P বিন্দু X বিন্দু অতিক্রম করিবার পর সময় গণনা শুরু করিলে $\theta=\omega t+\delta$ হইবে, যদি প্রারম্ভিক দশা δ হয়। সেক্ষেত্রে, $y=a\sin(\omega t+\delta)$

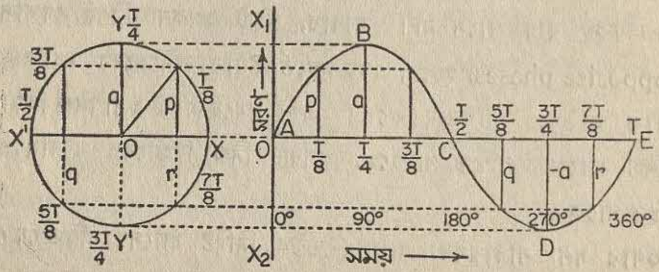
সুতরাং $y=a\sin(\omega t\pm\delta)$ লেখা যায়।

সরল দোলগতিসম্পন্ন কণার সরণের এই সমীকরণকে **সরল দোলগতির সমীকরণ** (Equation of Simple Harmonic Motion) বলে।

এই প্রসঙ্গে মনে রাখিতে হইবে যে, প্রতি মুহূর্তে কণার দশা পরিবর্তিত হয়। কিন্তু প্রারম্ভিক দশার মান নির্দিষ্ট।

1.5. সরল দোলগতির সময়-সরণ লেখচিত্র (Time-displacement curve of a Simple Harmonic Motion) :

সরল দোলগতিযুক্ত কণার সরণ সময়ের সহিত কিভাবে পরিবর্তিত হয় তাহা 1.2 চিত্রে দেখান হইয়াছে। AE অনুভূমিক রেখা বরাবর অতিক্রান্ত সময় এবং X_1X_2 উলম্ব রেখাবরাবর সরণ নির্দেশ করা হইয়াছে।



চিত্র 1.2

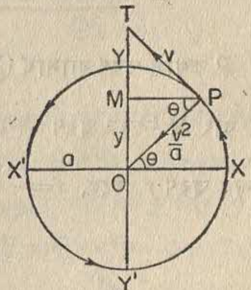
$XYX'Y'$ বৃত্তটি সমান 8টি ভাগে ভাগ করা হইয়াছে। P বিন্দুর পর্যায়-কাল T হইলে প্রতিটি ভাগ $\frac{T}{8}$ সময় নির্দেশ করিবে। AE রেখাকে 8টি সমান ভাগে ভাগ করা হইয়াছে এবং প্রতিটি ভাগ $\frac{T}{8}$ সময় বুঝাইতেছে। বৃত্তের বিভিন্ন বিন্দু হইতে XOX'-এর উপরে অংকিত লম্বগুলির দৈর্ঘ্য YOY' বরাবর M বিন্দুর সরণ নির্দেশ করে। AE রেখার অনুরূপ বিন্দুগুলি হইতে লম্বগুলির সমান দৈর্ঘ্যের কোটিরেখা (ordinates) অংকন করিয়া রেখাগুলির প্রান্ত-বিন্দুগুলি যোগ করিলে, $ABCDE$ লেখটি পাওয়া যাইবে। P বিন্দু যখন X-বিন্দুতে, তখন M বিন্দুর সরণ-শূন্য, লেখচিত্রে A বিন্দু দ্বারা তাহা সূচনা করা হইয়াছে। P বিন্দু যখন Y বিন্দুতে, তখন M বিন্দুর ধণাত্মক দিকে সরণ সর্বাধিক, B বিন্দু ইহা লেখচিত্রে সূচিত করিতেছে। একইভাবে বিভিন্ন সময়ে M বিন্দুর সরণ (p, a, q, r ইত্যাদি) $ABCDE$ লেখটির বিভিন্ন বিন্দু নির্দেশ করিতেছে। এখানে OY' বরাবর M বিন্দুর সরণ ঋণাত্মক ধরিয়া লেখচিত্রে সেইভাবে নির্দেশ করা হইয়াছে।

ABCDE লেখচিত্রকে সরল দোলগতির সময়-সরণ লেখচিত্র বলে। সময়ের পরিবর্তে দশা-কোণ ও সরণের লেখচিত্র অংকন করিলে তাহা একই হইবে। এই ধরনের লেখচিত্র sine curve-এর বৈশিষ্ট্যমূলক।

1.6. সরল দোলগতিসম্পন্ন বস্তুকণার বেগ, ত্বরণ, শক্তি (The velocity, acceleration, energy of a particle executing Simple Harmonic Motion) :

(i) **বেগ** (velocity) ও **ত্বরণ** (acceleration) :

একটি নির্দেশকণা যখন সমহার কৌণিকবেগ লইয়া একটি বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করে, তখন বৃত্তের যে-কোন ব্যাসের উপর ঐ কণার অবস্থান হইতে লম্ব টানিলে লম্বের পাদবিন্দু যে সরল দোলগতি নির্বাহ করে, ইহা আমরা দেখিয়াছি। 1.3 চিত্রে P নির্দেশকণার কৌণিক বেগ ω এবং লম্বের পাদবিন্দু M, YOY' ব্যাস-বরাবর সরল দোলগতি সম্পন্ন করিতেছে। P কণার গতিবেগ v হইলে ইহার যে-কোন অবস্থানে, ধরা যাক, P অবস্থানে, গতিবেগকে PT স্পর্শক বরাবর দিক ও মানে সূচিত করা যায়। P কণার এই অবস্থানে M বিন্দুর গতিবেগ স্পষ্টতঃই PT ভেক্টরের YOY' বরাবর বিশ্লেষিত উপাংশের দ্বারা দিকে ও মানে সূচিত হইবে।



চিত্র 1.3

এখন $\angle POX = \theta$ হইলে, এই উপাংশ $= v \sin TPM$

$$= v \cos \theta = v \cos \omega t \qquad [\because \theta = \omega t]$$

আবার, $\cos \theta = \dfrac{PM}{OP} = \dfrac{\sqrt{OP^2 - OM^2}}{OP}$

ঐ মুহূর্তে M বিন্দুর সরণ $= OM = y$ ধরিলে,

$$\cos \theta = \frac{\sqrt{a^2 - y^2}}{a} \qquad [a = OP, \text{ বৃত্তের ব্যাসার্ধ}]$$

$\therefore$ M বিন্দুর গতিবেগ $= v \cos \theta$

$$= \frac{v\sqrt{a^2 - y^2}}{a} = \frac{a\omega\sqrt{a^2 - y^2}}{a} \qquad [\because v = a\omega]$$

$$= \omega\sqrt{a^2 - y^2}$$

দেখা যাইতেছে, M বিন্দুর গতিবেগ উহার সরণের (y) উপর নির্ভরশীল; অর্থাৎ M বিন্দুর বিভিন্ন অবস্থানে উহার গতিবেগ বিভিন্ন।

(a) $y=0$ হইলে, অর্থাৎ M বিন্দুর O-অবস্থানে উহার গতিবেগ= $\omega\sqrt{a^2-0^2}=a\omega$ এবং ইহাই ইহার সর্বোচ্চ মান।

(b) $y=\pm a$ হইলে, অর্থাৎ বিস্তারের প্রান্তবিন্দুদ্বয়ে (Y এবং Y'-এ) M বিন্দুর গতিবেগ$=\omega\sqrt{a^2-a^2}=0$ এবং ইহাই ইহার সর্বনিম্নমান। সময়ের সহিত M বিন্দুর গতিবেগ সম্পর্ক নিম্নরূপ:

সময়	0	$T/4$	$T/2$	$3T/4$	T
গতিবেগ	$a\omega$	0	$-a\omega$	0	$a\omega$

P কণার ত্বরণ ব্যাসার্ধ (PO)-বরাবর কেন্দ্রাভিমুখী এবং ইহার মান $\frac{v^2}{a}$; সুতরাং M বিন্দুর ত্বরণ এই মানের YO-বরাবর বিশ্লেষিত অংশ হইবে। M বিন্দুর ত্বরণ f হইলে, $f=-\frac{v^2}{a}\sin\theta$ [সরণের বিপরীত দিক্‌যুক্ত বলিয়া ঋণাত্মক চিহ্ন দেওয়া হইয়াছে]

$$=-\frac{v^2}{a^2}.\,a\sin\theta$$

$$=-\omega^2 y \qquad [\because\ y=a\sin\theta]$$

$$=-\mu.y,\ \mu=\omega^2=\text{ভেদের ধ্রুবক}$$

দেখা যাইতেছে, M বিন্দুর ত্বরণ গতিবেগের মতই উহার সরণের উপর নির্ভরশীল।

(a) $y=0$ হইলে, অর্থাৎ মধ্য-বিন্দুতে (O-বিন্দুতে), $f=0$ এবং ইহাই f-র সর্বনিম্ন মান।

(b) $y=\pm a$ হইলে, অর্থাৎ বিস্তারের প্রান্তবিন্দুদ্বয়ে $f=\pm a\omega^2$, এবং ইহাই f-এর সর্বোচ্চ মান (কেবলমাত্র মানের হিসাবে, '$-$' চিহ্ন শুধুমাত্র ত্বরণের অভিমুখ নির্দেশ করিতেছে)।

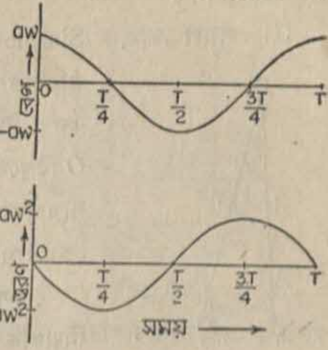
সময়ের সহিত M বিন্দুর ত্বরণের সম্পর্ক নিম্নরূপ:

সময়	0	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{3T}{4}$	T
ত্বরণ	0	$-a\omega^2$	0	$a\omega^2$	0

1.4 চিত্রে M বিন্দুর বেগ ও ত্বরণের সহিত সময়ের সম্পর্ক লেখচিত্রের সাহায্যে দেখান হইয়াছে।

(ii) **গতি ও স্থিতিশক্তি** (Kinetic and potential energies) ঃ

সরল দোলগতিসম্পন্ন বস্তুকণার ত্বরণ স্থিরবিন্দু বা মধ্যবিন্দুর অভিমুখী, সুতরাং ইহার উপর প্রযুক্ত বলও ঐ বিন্দুর প্রতি উদ্দিষ্ট। কণার সরণ ইহার বিপরীতমুখে হওয়ায় বলের বিরুদ্ধে কিছু কার্য করা হয়। সুতরাং কণাটির স্থিতিশক্তি আছে। আবার, কণাটি গতিশীল হওয়ায় ইহার গতিশক্তিও বর্তমান।



চিত্র 1.4

কণাটি মধ্য-অবস্থান অতিক্রম করিবার সময় গতিবেগ সর্বোচ্চ এবং ইহার মান$=a\omega$, সুতরাং কণাটির ভর m ধরিলে উহার গতিশক্তি $E_k=\frac{1}{2}m(a\omega)^2$ $=\frac{1}{2}ma^2\omega^2$ এবং ইহাই গতিশক্তির সর্বোচ্চ মান। এই সময়ে সরণ $y=0$ হওয়ায় স্থিতিশক্তি শূন্য। সুতরাং কণাটির মোট যান্ত্রিকশক্তি$=\frac{1}{2}ma^2\omega^2+0=\frac{1}{2}ma^2\omega^2$.

কণাটি যখন বিস্তারের যে-কোন প্রান্তে উপস্থিত হয়, তখন উহার গতিবেগ শূন্য, সুতরাং গতিশক্তিও শূন্য।

$\therefore$ কণাটির ঐ সময়ে স্থিতিশক্তি $E_p=$ মোট যান্ত্রিকশক্তি $-$ গতিশক্তি

$=\frac{1}{2}ma^2\omega^2-0$

$=\frac{1}{2}ma^2\omega^2$ এবং ইহাই স্থিতিশক্তির সর্বোচ্চ মান।

দেখা যাইতেছে, কণাটির স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির সর্বনিম্ন ($=0$) এবং সর্বোচ্চ মান ($=\frac{1}{2}ma^2\omega^2$)-গুলি পরস্পর সমান।

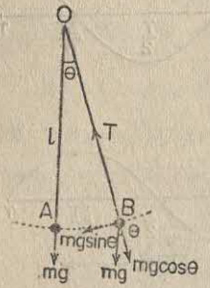
কণাটির অন্য যে-কোন অবস্থানে, গতিবেগ$=v\cos\omega t$

$$\therefore \text{ ঐ সময়ে গতিশক্তি}=\frac{1}{2}m(v\cos\omega t)^2=\frac{1}{2}mv^2\cos^2\omega t=\frac{1}{2}ma^2\omega^2\cos^2\omega t$$

$$\therefore \text{ ঐ সময়ে স্থিতিশক্তি}=\frac{1}{2}ma^2\omega^2-\frac{1}{2}ma^2\omega^2\cos^2\omega t=\frac{1}{2}ma^2\omega^2(1-\cos^2\omega t)=\frac{1}{2}ma^2\omega^2\sin^2\omega t.$$

1.7. সরল দোলগতির উদাহরণ (Examples of Simple Harmonic Motion) :

(1) **সরল দোলক** (Simple Pendulum) : সরল দোলগতির একটি সুবিদিত উদাহরণ হইল সরল দোলকের গতি। l একক দীর্ঘ একটি অপ্রসার্য OA রজ্জু দ্বারা দোলকটি O বিন্দুতে বিলম্বিত (চিত্র 1.5)। দোলকটি উহার সাম্য-অবস্থান A হইতে ক্ষুদ্র কৌণিক বিস্তার θ কোণে আন্দোলিত হইয়া B বিন্দুতে আসিয়াছে।



চিত্র 1.5

দোলকটির ভর m হইলে, উহার ভার mg নিম্নদিকে উল্লম্বরেখায় সক্রিয়। B বিন্দুতে এই সক্রিয় ভারের রজ্জু-বরাবর বিশ্লেষিত অংশ $mg\cos\theta$ এবং উহার লম্বদিকে $mg\sin\theta$।

$mg\cos\theta$ উপাংশ BO-বরাবর টান T-কে প্রশমিত করে এবং বাকী $mg\sin\theta$ বল BA অভিমুখে দোলকের ত্বরণ উৎপন্ন করে। যেহেতু ত্বরণ $=\frac{\text{বল}}{\text{ভর}}$, অতএব BA দিকে দোলকের ত্বরণ $f=\frac{mg\sin\theta}{m}=g\sin\theta.$

কৌণিক বিস্তার θ-র মান ক্ষুদ্র হইলে, $\sin\theta\simeq\theta=\frac{AB}{OB}$

$$=\frac{y}{l}\quad [AB=y=\text{দোলকের সরণ}]$$

$\therefore$ দোলকের ত্বরণ$=g\frac{y}{l}=\mu y\quad [g/l=\mu$, একটি ধ্রুবক$]$

$\therefore$ ত্বরণ $\propto y$ এবং A স্থিরবিন্দুর প্রতি উদ্দিষ্ট।

সুতরাং সরল দোলকের গতি সরল দোলগতির সকল বৈশিষ্ট্যের অধিকারী।

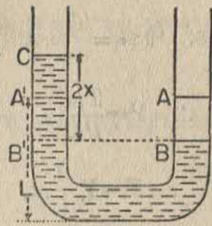
এখন, $\mu=\omega^2=\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$

$$\therefore\ T=2\pi\sqrt{\frac{1}{\mu}}$$

$\therefore$ সরল দোলকের দোলনকাল, $T=2\pi\sqrt{\frac{1}{g/l}}$

অথবা, $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$

(2) **U-টিউবে তরলের দোলন** (Oscillation of a liquid in a U-tube) : মনে কর, একটি U-টিউবে A এবং A' দুই বাহুতে একটি তরলের তলদ্বয় নির্দেশ করিতেছে (চিত্র 1.6)। A বাহুতে তরলের উপর চাপ দিয়া উহার তল x পরিমাণ নামাইয়া দিলে A' বাহুতে তরল তল x পরিমাণ উঠিবে। ইহাতে টিউবের দুই বাহুতে তরলের দোলন উৎপন্ন হইবে। প্রমাণ করা যায় যে, তরলের এই দোলন সরল দোলগতিসম্পন্ন।



চিত্র 1.6

ধর, দুই বাহুতে তরলের বর্তমান তলদ্বয় B এবং C ; সুতরাং দুই বাহুতে তরল স্তম্ভদ্বয়ের উচ্চতার পার্থক্য$=B'C=2x$ এবং এই তরলস্তম্ভের ভার দুই বাহুর তরলকে এক অনুভূমিক তলে আনিবার চেষ্টা করিবে।

স্পষ্টতই, তরলের দোলনের জন্য দায়ী বল$=2x$ উচ্চতার তরলস্তম্ভের ওজন

$$=2x\times\alpha\times\rho\times g$$

$\alpha=U$ টিউবের সমপ্রস্থচ্ছেদ, $\rho=$তরলের ঘনত্ব

U-টিউবে তরলের পরিমাণ$=2.L\times\alpha\times\rho$, $L=$প্রতি বাহুতে তরল-স্তম্ভের প্রাথমিক উচ্চতা।

$$\therefore\ \text{তরলে সৃষ্ট ত্বরণ}=\frac{\text{বল}}{\text{ভর}}=\frac{2x\times\alpha\times\rho\times g}{2L\times\alpha\times\rho}=\frac{xg}{L}=\mu x$$

$[\mu=\text{ধ্রুবক}=g/L]$

$\therefore$ ত্বরণ $\propto x$ (তরলের সরণ)

$\therefore$ তরলের দোলন সরল দোলগতিসম্পন্ন। ইহার দোলনকাল,

$$T=2\pi\sqrt{\frac{1}{\mu}}=2\pi\sqrt{\frac{1}{g/L}}=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

(3) **স্থিতিস্থাপক তারের দোলন** (Oscillation of an elastic string) : $AB\,(=L)$ দৈর্ঘ্যের একটি স্থিতিস্থাপক তার A বিন্দুতে দৃঢ় অবলম্বন হইতে ঝুলান আছে (চিত্র 1.7)। তারের প্রান্তে m ভরের একটি বস্তু আটকানো আছে। ইহার ফলে তারটির দৈর্ঘ্য l পরিমাণ $(=BC)$ বাড়িবে। mg ভার তারের টান T-কে প্রশমিত করিয়া উহাকে সাম্য অবস্থায় রাখিবে।

$\therefore$ সাম্য-অবস্থানে, $T=mg$

এখন তারের ইয়ং-গুণাঙ্ক Y হইলে, $Y=\frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$

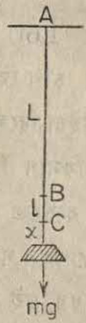
স্পষ্টত, পীড়ন$=\frac{T}{\alpha}$ এবং বিকৃতি$=\frac{l}{L}$, [α=তারের প্রস্থচ্ছেদ]

$$\therefore \quad Y=\frac{T/\alpha}{l/L}$$

$$\therefore \quad T=Y.\frac{l}{L}.\alpha.$$

$$\therefore \quad T=mg=Y.\frac{l}{L}.\alpha\ldots\ldots(i)$$

$$\text{অথবা,} \quad mg/l=\frac{Y.\alpha}{L}\ldots\ldots(ii)$$



চিত্র 1.7

এখন যদি তারটিকে নীচের দিকে x দূরত্ব টানিয়া ছাড়িয়া দেওয়া হয় তবে তারটি সাম্য-অবস্থানে যাইতে চাহিবে, ফলে তারটির দোলন ঘটিবে। তারটি নীচের দিকে x দূরত্ব পর্যন্ত টানিলে, তারের উপর উর্ধাভিমুখী টান

$$=Y.\frac{(l+x)}{L}.\alpha \qquad \text{[(i) সমীকরণ দেখ]}$$

$$=\frac{mg}{l}(l+x) \qquad \text{[(ii) সমীকরণ হইতে]}$$

তারের উপর নিম্নাভিমুখী বল$=mg$, সুতরাং তারের উপর উর্ধাভিমুখী লব্ধ-বল$=\frac{mg}{l}(l+x)-mg$

$$=\frac{mgx}{l}$$

$$\therefore \quad \text{ত্বরণ}=\frac{mgx}{l.m}=\frac{gx}{l}=\mu x \qquad [\ \mu=\frac{g}{l}=\text{ধ্রুবক}\ ]$$

$\therefore$ ত্বরণ $\propto x$ (সরণ) এবং ইহা সাম্য-অবস্থান অভিমুখী। সুতরাং তারের এই উল্লম্ব দোলন সরল দোলগতির পর্যায়ভুক্ত।

$$\text{দোলনকাল, } T=2\pi\sqrt{\frac{1}{\mu}}=2\pi\sqrt{\frac{1}{g/l}}=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\ ।$$

দেখা যাইতেছে, এই দোলনকাল l কার্যকরী দৈর্ঘ্যের সরল দোলকের দোলনকালের সমান।

উদাহরণ (Examples) :

(1) একটি সরল দোলগতিসম্পন্ন কণার বিস্তার 4 সে. মি. এবং সরণ যখন 1 সে. মি. তখন ত্বরণ 3 সে. মি./সেকেণ্ড^2। কণাটি যখন মধ্য-অবস্থান হইতে 2 সে. মি. দূরে, তখন উহার গতিবেগ কত ?

উত্তর : কণাটির বিস্তার, $a=4$ সে. মি. এবং সরণ, $y=1$ সে. মি. হইলে ত্বরণ, $f=3$ সে. মি./সেকেণ্ড^2

আমরা জানি, $f=\omega^2 y$

$$\therefore \quad \omega^2=\frac{f}{y}=\frac{3}{1}$$

$$\therefore \quad \omega=\sqrt{3}$$

গতিবেগ $v=\omega\sqrt{a^2-y^2}$

$\therefore$ যখন $y=2$, তখন নির্ণেয় গতিবেগ $=\sqrt{3}\sqrt{4^2-2^2}=6$ সে. মি./সেকেণ্ড।

(2) সরল দোলগতিযুক্ত একটি বস্তুর বিস্তার 10 সে.মি. এবং দোলনকাল 1·5 সেকেণ্ড। উহার মধ্য-অবস্থান হইতে $5\sqrt{3}$ সে. মি. দূরত্ব অতিক্রম করিতে কত সময় লাগিবে ?

উত্তর : বস্তুটির বিস্তার, $a=10$ সে. মি., দোলনকাল $T=1{\cdot}5$ সেকেণ্ড

$\therefore$ কৌণিক বেগ $\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{2\pi}{1{\cdot}5}$

সরণ, $y=5\sqrt{3}$ সে. মি., তখন অতিক্রান্ত সময় t ধরিলে,

$t=\dfrac{\theta}{\omega}$, $\theta=$ দশাকোণ [চিত্র 1.1 দ্রষ্টব্য]

এখন, $\sin\theta=\dfrac{y}{a}=\dfrac{5\sqrt{3}}{10}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$ $\quad[\because \ y=a\sin\theta]$

$\therefore \quad \theta=60^\circ=\dfrac{\pi}{3}$ রেডিয়ান

$\therefore \quad t=\dfrac{\pi}{3}\times\dfrac{1{\cdot}5}{2\pi}=\cdot 25$ **সেকেণ্ড।**

(3) সরল দোলগতিযুক্ত একটি বস্তুকণার দোলনকাল 2π সেকেণ্ড এবং মোট শক্তি 10,240 আর্গ। মধ্য-অবস্থান অতিক্রম করিবার $\frac{\pi}{4}$ সেকেণ্ড পরে কণাটির সরণ $8\sqrt{2}$ সে. মি., হইলে উহার বিস্তার ও ভর বাহির কর।

উত্তর : দোলনকাল, $T=2\pi$ সেকেণ্ড হইলে, কৌণিক বেগ $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{2\pi}=1$

$\frac{\pi}{4}$ সেকেণ্ডে সরণ $8\sqrt{2}$ সে. মি. হইলে, $y=a \sin \omega t$ হইতে লিখিতে পারা যায়,

$$8\sqrt{2}=a \sin 1.\frac{\pi}{4}$$

অথবা, $a=\frac{8\sqrt{2}}{\sin\frac{\pi}{4}}=\frac{8\sqrt{2}}{\frac{1}{\sqrt{2}}}=16$ সে. মি.

মোট শক্তি $=\frac{1}{2}ma^2\omega^2$, $m=$ কণার ভর।

$\therefore \frac{1}{2}ma^2\omega^2=10{,}240$

অথবা, $m=\frac{10{,}240\times 2}{a^2.\omega^2}$

$=\frac{10{,}240\times 2}{16^2.1^2}$

$=80$ গ্রাম

$\therefore$ **কণাটির বিস্তার 16 সে. মি. এবং ভর 80 গ্রাম।**

1.9. একই দিকে দুইটি সরলদৈরখিক দোলগতির উপরিপাত (Superposition of two Simple Harmonic Motions in the same direction) :

লৈখিক পদ্ধতি (Graphical method) :

একটি কণার উপর যখন দুইটি সরল দোলগতি যুগপৎ ক্রিয়া করে, তখন তাহাকে সরল দোলগতির উপরিপাত বলে। এই ক্ষেত্রে, বস্তুকণার চূড়ান্ত গতি দোলগতি সৃষ্টিকারী বল দুইটির লব্ধির উপর নির্ভর করে।

দুইটি একরেখীয় (collinear) সরল দোলগতির দোলনকাল একই হইলে উহারা যে কণার উপর ক্রিয়া করে তাহার চূড়ান্ত সরণ পৃথক্ ভাবে দোলগতি দুইটির জন্য সরণ দুইটির বীজগাণিতিক (algebric) যোগফলের সমান। ইহাকে একরেখীয় দোলগতির উপরিপাতের নীতি বলে।

ধর, একই দোলনকালসম্পন্ন দুইটি দোলগতি (বিভিন্ন বিস্তার এবং দশার) YOY' অক্ষের উপর OP এবং OQ ভেক্টরদ্বয়ের প্রক্ষেপ (projection) দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে (চিত্র 1.8)। নির্দেশ-বৃত্তের ব্যাসার্ধদ্বয় যথাক্রমে a এবং b;

অর্থাৎ $OP=a$ এবং $OQ=b$, সুতরাং দোলগতি দুইটির সমীকরণ এইভাবে লেখা যায়: $y=a \sin \omega t$ এবং $y=b \sin (\omega t+\phi)$

এখানে t সময়ে উহাদের দশা-কোণ যথাক্রমে ωt এবং $(\omega t+\phi)$, ϕ উহাদের দশা-পার্থক্য।

এখন, যদি $DEIFG$ এবং $DHIJG$ দোলগতি দুইটির সময়-সরণ লেখচিত্র ($\phi=0$ ধরিয়া) হয়, তবে উপরিপাতের নিয়ম অনুযায়ী লব্ধগতির সময়-সরণ লেখচিত্র DIG রেখার প্রত্যেক বিন্দুতে সরণযুগলের বীজগাণিতিক যোগে পাওয়া যাইবে। ধর, এই লেখচিত্র যেন $DMING$ লেখ।

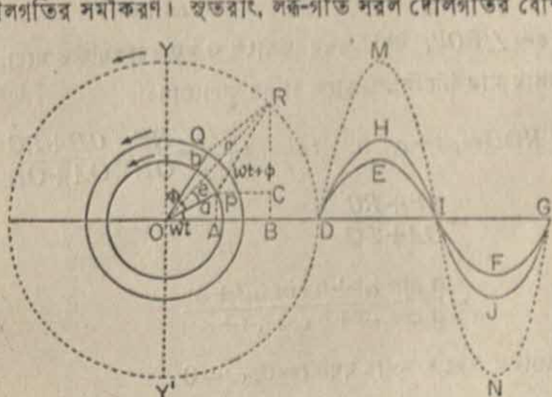
$DMING$ লেখটি এমন যেন উহা OR ব্যাসার্ধ-ভেক্টরের সময়-সরণ লেখচিত্র, অর্থাৎ বৃত্তাকারে পরিভ্রমণরত R নির্দেশবিন্দু হইতে YOY' অক্ষের উপর লম্ব টানিলে লম্বের পাদবিন্দুর দোলগতি উপরি-উক্ত দোলগতি দুইটির লব্ধি নির্দেশ করিবে।

কারণ, t সময়ে লব্ধ-সরণ $RB=CB+RC=PA+RC$

$$=OP \sin AOP+PR \sin CPR$$

$$=a \sin \omega t+b \sin (\omega t+\phi) \quad [\angle CPR=\omega t+\phi]$$

লব্ধ-সরণ $RB=c$ ধরিলে, $c=a \sin \omega t+b \sin (\omega t+\phi)$, ইহা একটি সরল দোলগতির সমীকরণ। সুতরাং, লব্ধ-গতি সরল দোলগতির বৈশিষ্ট্যযুক্ত।



চিত্র 1.8

এখন, ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্রানুযায়ী লব্ধ-গতির বিস্তার $OR=r$, নিম্নলিখিত সম্পর্ক হইতে বাহির করা যায়। $OR^2=OP^2+OQ^2+2OP.\ OQ.\ \cos POQ$

$$\therefore \quad r^2=a^2+b^2+2ab\cos\phi \qquad [\angle POQ=\phi]$$

অথবা $r=\sqrt{a^2+b^2+2ab\cos\phi}$

(i) সরল দোলগতি দুইটির ভিতর দশাপার্থক্য না থাকিলে অর্থাৎ উহারা সমদশাসম্পন্ন (in phase) হইলে $\phi=0 \quad \therefore \quad \cos\phi=1$

$$\therefore \quad r=\sqrt{a^2+b^2+2ab}$$
$$=a+b.$$

অর্থাৎ লব্ধ দোলগতির বিস্তার উপাংশ দোলগতি দুইটির বিস্তারের যোগ-ফলের সমান।

(ii) উপাংশ দোলগতি দুইটি বিপরীত দশাসম্পন্ন (in opposite phases) হইলে, $\phi=\pi$ এবং $\cos\pi=-1$

$$\therefore \quad r=\sqrt{a^2+b^2-2ab}$$
$$=a\backsim b$$

উহাদের বিস্তার সমান হইলে, অর্থাৎ $a=b$ হইলে, $r=0$, অর্থাৎ এক্ষেত্রে একটি দোলগতি অপর দোলগতিকে প্রশমিত করিয়া কণাকে স্থির অবস্থানে রাখিবে।

লব্ধ দোলগতির দশা-কোণ স্পষ্টতঃই $\angle ROB=\angle POA+\angle ROP$
$$=\omega t+e$$

এখানে $e=\angle ROP$, ইহা প্রথম উপাংশ ও লব্ধ দোলগতির মধ্যে দশা-পার্থক্য। ইহার মান নিম্নলিখিতভাবে বাহির করা যায়।

$$\angle ROB=\omega t+e, \quad \therefore \quad \tan(\omega t+e)=\frac{RB}{OB}=\frac{CB+RC}{OA+OB}$$

$$=\frac{AP+RC}{OA+PC}$$

$$=\frac{a\sin\omega t+b\sin(\omega t+\phi)}{a\cos\omega t+b\cos(\omega t+\phi)}$$

দোলগতিগুলির শুরুতে অর্থাৎ যখন $t=0$, $\omega t=0$

$$\therefore \quad \sin\omega t=0, \text{ এবং } \cos\omega t=1$$

$$\therefore \quad \tan(\omega t+e)=\frac{a\sin\omega t+b\sin(\omega t+\phi)}{a\cos\omega t+b\cos(\omega t+\phi)} \text{ হইতে}$$

$$\tan e=\frac{b\sin\phi}{a+b\cos\phi}, \quad \therefore \quad e=\tan^{-1}\frac{b\sin\phi}{a+b\cos\phi}$$

প্রশ্নাবলী

1. সরল দোলগতি বলিতে কি বুঝ ? উহার বৈশিষ্ট্যগুলি বল। দোলনকাল, বিস্তার, কম্পাঙ্ক, দশা—এই কয়টি রাশি ব্যাখ্যা কর। 'ইপক' কাহাকে বলে ?

[What do you understand by Simple Harmonic Motion ? State its characteristics Explain the terms : time period, amplitude, frequency and phase. What is 'epoch' ?]

2. প্রমাণ কর যে, বৃত্তপথে সমহার কৌণিকবেগে সঞ্চরমান বিন্দু হইতে ঐ বৃত্তের ব্যাস বরাবর উক্ত বিন্দু হইতে অঙ্কিত লম্বের পাদবিন্দু সরল দোলগতি নির্বাহ করে।

[Show that when a particle moves with uniform angular velocity around the circumference of a circle, the foot of the perpendicular drawn on a diameter from the point executes a Simple Harmonic Motion.]

3. সরল দোলগতির সমীকরণটি বাহির কর। একটি সরল দোলগতিযুক্ত কণার বেগ, ত্বরণ, স্থিতি ও গতিশক্তি নির্ণয় কর।

[Deduce the equation of a Simple Harmonic Motion. Find expressions for the velocity, acceleration, potential and kinetic energies of a particle executing S. H. M.]

4. সরল দোলগতির সময়-সরণ লেখচিত্রটি অংকন কর। এই লেখচিত্রের বৈশিষ্ট্য কি ?

[Draw the time-displacement curve of a Simple Harmonic Motion. What are its characteristics ?]

5. সরল দোলগতির একটি যথাযথ সংজ্ঞা দাও এবং একটি সরল দোলকের গতি কতদূর সরল দোলগতিসম্পন্ন তাহা আলোচনা কর।

[Give a precise definition of Simple Harmonic Motion and discuss how far the motion of a simple pendulum is simple harmonic.] [J. Entrance 1976]

6. একটি কণা 4 সে. মি. দীর্ঘ একটি রেখা-বরাবর সরল দোলগতি নির্বাহ করিতেছে। ঐ রেখার মধ্যবিন্দু অতিক্রম করিবার সময় উহার গতিবেগ 12 সে. মি./সেকেণ্ড হইলে উহার দোলনকাল নির্ণয় কর। [C. U. 1949]

[A particle executes a Simple Harmonic Motion in a line 4 cm. long. Its velocity when passing through the centre is 12 cm/sec, calculate its period.] [Ans. 1·05 sec]

7. সরল দোলগতিযুক্ত একটি কণার বিস্তার 10 সে.মি. এবং ইহা প্রতি মিনিটে 60টি পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করিলে, 4·5 সেকেণ্ডে ইহার সরণ কত ?

[C. U. 1974]

[The amplitude of a particle executing Simple Harmonic Motion is 10 cm. and its frequency is 60 vibrations per-minute. What is the displacement at the end of 4·5 seconds ?] [Ans. 10 cm.]

8. একটি দৃঢ় অবলম্বন হইতে খাড়াভাবে ঝুলান একটি দীর্ঘ হাল্কা স্প্রিং-এর নিম্নপ্রান্তে 100 গ্র্যামের একটি ভর আটকানো আছে। ইহাতে স্প্রিংটির 2 সে. মি. দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি ঘটিয়াছে। ওজনটি সামান্য নীচে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহার উল্লম্বদোলনের দোলনকাল বাহির কর। [B. U. 1955]

[A mass of 100 gms is attached to the lower end of a long light spring hanging vertically from a rigid support at its upper end. This increases the length of the spring by 2 cms. Find the period of the vertical oscillation when the mass is slightly pulled down and released.] [Ans : 0·2836 sec]

9. সমপ্রস্থচ্ছেদযুক্ত একটি খাড়া U-টিউবের ভিতর জলের উচ্চতা L সে. মি.। একটি বাহুতে জলের উপর নীচের দিকে চাপ দিয়া ছাড়িয়া দিলে, দেখাও যে, দুই বাহুতে জলতলের উল্লম্ব দোলন সরল দোলগতিযুক্ত ; ইহার দোলনকাল বাহির কর। [Punjab 1965]

[A vertical U-tube of uniform cross-section contains water upto a height 'L' cm. Show that if water on one side is depressed and then released, its motion up and down the tube is S.H.M. and calculate its period.]

$$\left[\text{Ans.}\quad T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\right]$$

10. সরল দোলগতির উপরিপাত বলিতে কি বুঝ ? লৈখিক পদ্ধতির সাহায্যে একই দিকে দুইটি সরলরৈখিক দোলগতির লব্ধি বাহির কর। উপাংশ দোলগতিগুলি সমদশাসম্পন্ন এবং বিপরীত দশাসম্পন্ন হইলে লব্ধ-গতি কিরূপ হইবে ?

[What do you understand by superposition of two Simple Harmonic Motions ? Find, by graphical method, the resultant of two Simple Harmonic Motions in the same direction along the same line. What will be the resultant when the component motions are in phase and in opposite phases ?]

দ্বিতীয় অধ্যায়

কম্পনের প্রকৃতি (Nature of Vibrations)

2.1. সূচনা (Introduction) :

পূর্ববর্তী অধ্যায়ে বলা হইয়াছে, স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কোন কণাকে আঘাত করিয়া স্থির-অবস্থান হইতে বিচ্যুত করিলে ঐ কণা স্থির-অবস্থানের দুইপাশে পর্যায়গতিতে কম্পিত হয়। মাধ্যমের কণাগুলির মধ্যে পারস্পরিক সংসক্তি বল ক্রিয়াশীল থাকায় এই কণার কম্পন পার্শ্ববর্তী কণায় সঞ্চারিত হয়। দ্বিতীয় কণা আবার তাহার পার্শ্ববর্তী কণাকে কম্পিত করে। এই প্রক্রিয়া চলিতে থাকায় একটির পর একটি কণাতে কম্পন সঞ্চারিত হইবে। সামগ্রিকভাবে বিচার করিলে বলা যায় যে, একটি আন্দোলন কণান্তরের মধ্য দিয়া প্রসার লাভ করে।

একটি দৃষ্টান্তের সাহায্যে ব্যাপারটি সহজ করিয়া বলা যাইতে পারে। মনে কর, একটি অনুভূমিক দণ্ডে সূতা দ্বারা কাছাকাছি কয়েকটি ধাতব বল ঝুলাইয়া দেওয়া আছে। এক প্রান্তের একটি বলকে সামান্য ধাক্কা দিয়া আন্দোলিত করিলে তাহা পরবর্তী বলকে ধাক্কা দেয় ও তাহাকে আন্দোলিত করে। দ্বিতীয় বল তখন তৃতীয়কে, তৃতীয় বল চতুর্থকে—এইভাবে ধাক্কা দিতে থাকে এবং অল্পক্ষণের মধ্যে দেখা যায় যে সমস্ত বলগুলিই তাহাদের স্থির অবস্থানের দুইপাশে দেওয়ালঘড়ির পেণ্ডুলামের মত দুলিতেছে। প্রথম বলটিকে যে ধাক্কা দেওয়া হইয়াছিল তাহা বলগুলির ভিতর দিয়া সঞ্চালিত হইয়া অন্য প্রান্তে পৌছিয়াছে। বলগুলি নিজেরা স্থানচ্যুত হয় নাই, কেবলমাত্র আন্দোলিত হইয়াছে।

পদার্থের ভিতর দিয়া যখন কোন শক্তি আন্দোলনের রূপে বিস্তার লাভ করে তখন পদার্থের কণা বা স্তরগুলির যে কম্পন হয় তাহার সম্পর্কে নিম্নে আলোচনা করা হইল।

2.2. কম্পনের প্রকারভেদ (Different kinds of vibrations) :

কম্পনশীল কণাসমূহের ভিতর দিয়া আন্দোলনের বিস্তারের অভিমুখ বিচার করিয়া কণার কম্পনকে দুইভাগে ভাগ করা হয়। যথা, (i) **তির্যক কম্পন** (Transverse vibration) এবং (ii) **অনুদৈর্ঘ্য কম্পন** (Longitudinal vibration)।

(a) **তির্যক কম্পন : কোন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কণাগুলি যদি একই ধরনের সরল দোলগতিতে কম্পনশীল হয় এবং আন্দোলনের প্রবাহের অভিমুখ কণাগুলির কম্পন অভিমুখের অভিলম্ব হয়, তাহা হইলে কণাগুলির কম্পনকে তির্যক কম্পন বলে।**

কোন নিস্তরঙ্গ পুকুরের জলে একটি ঢিল ফেলিলে যেখানে ঢিলটি পড়ে, সেখানে একটি আলোড়নের সৃষ্টি হয়। এই আলোড়ন পরবর্তী জলকণাসমূহে পরপর সঞ্চারিত হয় এবং জলতলের উপর দিয়া চতুর্দিকে বিস্তারলাভ করে। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, জলকণাগুলি জলতলের অভিলম্ব-বরাবর অর্থাৎ উপর-নীচে পর্যাবৃত্ত গতিতে দুলিতেছে। কণার গতি ও আলোড়নের প্রবাহের অভিমুখ পরস্পর সমকোণে বলিয়া কণাগুলির এইরূপ কম্পনকে তির্যক কম্পন বলা হইবে।

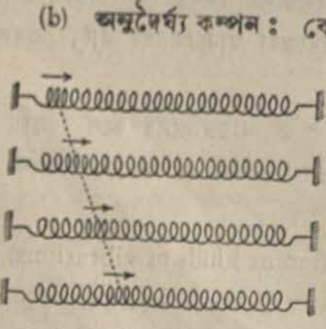
একটি দীর্ঘ রবারের দড়ি একটি দৃঢ় অবলম্বন হইতে ঝুলাইয়া নীচের প্রান্তে হাত দিয়া কম্পন সৃষ্টি করিলে কম্পন নীচ হইতে উপর-দিকে প্রতিটি কণায় সঞ্চারিত হইবে (চিত্র 2.1)। ইহার ফলে সৃষ্ট আন্দোলন দড়ি-বরাবর খাড়াভাবে উপরদিকে বিস্তার লাভ করিবে। কিন্তু দড়ির প্রতিটি কণার কম্পন দড়ির স্থির-অবস্থানের সমকোণে ঘটে। সুতরাং ইহা তির্যক কম্পনের একটি উদাহরণ।



চিত্র 2.1

একটি টান-টান তারের একপ্রান্ত তারের দৈর্ঘ্যের লম্ব-বরাবর টানিয়া ছাড়িয়া দিলে অথবা মৃদু আঘাত করিলে তারের যে কম্পন সৃষ্টি হয়, তাহাও তির্যক কম্পনের একটি দৃষ্টান্ত।

(b) **অনুদৈর্ঘ্য কম্পন : কোন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কণাগুলি যদি একই ধরনের সরল দোলগতিতে কম্পনশীল হয় এবং কণাগুলির গতির সমান্তরালে আন্দোলন বিস্তারলাভ করে, তবে কণাগুলির কম্পনকে অনুদৈর্ঘ্য কম্পন বলে।**



চিত্র 2.2

একটি লম্বা অনুভূমিক স্প্রিং-এর দুই-প্রান্ত দুইটি দৃঢ় অবলম্বনে আটকানো হইল। স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য-বরাবর স্প্রিং-এর একপ্রান্তে মৃদু ধাক্কা দিলে ঐ প্রান্তের

তারগুলি কাছাকাছি আসিয়া যায় (চিত্র 2.2)। অল্পক্ষণের মধ্যেই এই আলোড়ন স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্যের সমান্তরালে অন্যপ্রান্তে বিস্তারলাভ করে। চিত্রে তীরচিহ্নের সাহায্যে ইহা দেখান হইয়াছে। এক্ষেত্রে তারগুলির কম্পনও দৈর্ঘ্য-বরাবর ঘটায় উহাকে অনুদৈর্ঘ্য কম্পন বলা হইবে।

বাতাসের মধ্যদিয়া শব্দশক্তি যখন বিস্তারলাভ করে তখন বাতাসের স্তরগুলি শব্দপ্রবাহের অভিমুখের সমান্তরালে কম্পিত হয়। সুতরাং বায়ুস্তরের এই কম্পনও অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের উদাহরণ।

2.2a. পরবশ কম্পন ও অনুনাদ (Forced vibration and resonance) :

তির্যক বা অনুদৈর্ঘ্য, যাহাই হউক না কেন, উৎপত্তিগত এবং পরিবেশগত কারণে কম্পনের আবার প্রকারভেদ আছে।

প্রতিটি কম্পনশীল বস্তুর একটি নিজস্ব কম্পাঙ্ক আছে। বস্তুটি বলপ্রয়োগ দ্বারা কম্পিত হইলে উহা উহার নিজস্ব কম্পাঙ্কে কাঁপিতে থাকে। এই কম্পনকে **স্বাভাবিক কম্পন** (natural or free vibration) বলে।

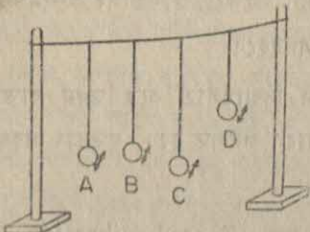
বস্তুর কম্পন যখন বাহির হইতে ক্রিয়াশীল কোন পর্যাবৃত্ত বলের কারণে সৃষ্টি হয় তখন বস্তু উহার স্বাভাবিক কম্পনাঙ্কে না কাঁপিয়া বলের পর্যায়কাল অনুযায়ী কাঁপিতে থাকে। ইহাকে **পরবশ কম্পন** (forced vibration) বলে। কোন কম্পনশীল বস্তুকণা-সংলগ্ন অন্য কণাসমূহ যখন কম্পিত হয়, তখন কণাগুলির কম্পাঙ্ক প্রথম কণাটির কম্পাঙ্কের সমান হয়।

পরবশ কম্পনের ক্ষেত্রে পরবশ কম্পনের কম্পাঙ্ক ও বস্তুর নিজস্ব কম্পাঙ্ক সমান হইলে বস্তুর কম্পনের বিস্তার অনেক বাড়িয়া যায় এবং কম্পনও বেশীক্ষণ স্থায়ী হয়। পরবশ কম্পনের এই বিশেষ অবস্থাকে **অনুনাদ** (resonance) বলে।

পরবশ কম্পন ও অনুনাদের কয়েকটি উদাহরণ নিম্নে দেওয়া হইল :

(1) একটি সহজ পরীক্ষার মাধ্যমে যান্ত্রিকভাবে পরবশ-কম্পন ও অনুনাদ সৃষ্টি দেখান যাইতে পারে। দুইটি ভারী স্ট্যাণ্ডের উপরদিকে একটি নমনীয় দড়ি অনুভূমিকভাবে বাঁধা আছে (চিত্র 2.3)। দড়ি হইতে A, B, C, D চারিটি সরল দোলক ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। A এবং B দোলক দুইটি একই দৈর্ঘ্যের, সুতরাং উহাদের দোলনকাল তথা কম্পাঙ্ক এক। C দোলকের দৈর্ঘ্য কিছু বেশী এবং D দোলকের কিছু কম। এখন A দোলকটিকে দড়ির আড়া-

আড়িভাবে দোলাইয়া দেওয়া হইল। দেখা যাইবে, B দোলকটি প্রায় সঙ্গে সঙ্গে একই বিস্তারে দুলিতে শুরু করিয়াছে। C এবং D দোলকও সেই সঙ্গে



চিত্র 2.3

দুলিতে শুরু করিবে, কিন্তু ইহাদের ক্ষেত্রে বিস্তার অপেক্ষাকৃত কম হইবে। আরও দেখা যাইবে, B দোলকের দোলনকাল A দোলকের দোলনকালের সমান, কিন্তু C এবং D দোলকের দোলন অনিয়মিত। ইহারা কিছুক্ষণ দুলিবার পর থামিয়া যাইবে। কিন্তু আরো কিছুক্ষণ পরে পুনরায় দুলিতে শুরু করিবে। এইবারে ইহাদের কম্পাঙ্ক A এবং B দোলকের কম্পাঙ্কের সমান দেখা যাইবে, যদিও বিস্তার অপেক্ষাকৃত কমই থাকিবে।

ইহার কারণ, A দোলকের দোলনের জন্য B, C এবং D দোলকে পরবশ কম্পন শুরু হয়। B দোলকের কম্পাঙ্ক A-এর কম্পাঙ্কের (পরবশ কম্পাঙ্কের) সমান বলিয়া অনুনাদ সৃষ্টি হয়। ফলে, B দোলকের বিস্তার সর্বাধিক এবং দোলন দীর্ঘস্থায়ী হয়। C এবং D দোলকের নিজস্ব কম্পাঙ্ক পরবশ কম্পাঙ্কের সমান নয় বলিয়া উহারা প্রথমে অনিয়মিতভাবে দোলে। কারণ, ইহাদের ক্ষেত্রে অনুনাদ সৃষ্টি হয় না। পরে অবশ্য দড়ির মধ্য দিয়া কম্পনের পুনঃপুনঃ সঞ্চালনের জন্য উহারা পরবশ কম্পাঙ্কে দুলিতে থাকে।

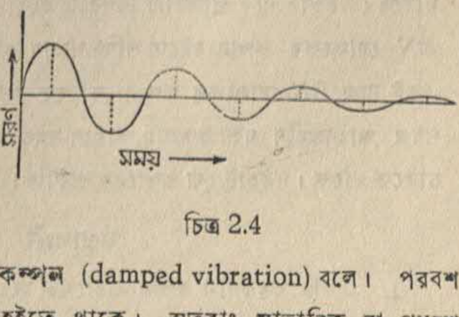
(2) প্রতিটি ঝুলন্ত কাঠ বা ধাতুনির্মিত সেতুর একটি নিজস্ব কম্পাঙ্ক আছে। এই কম্পাঙ্ক সেতুর আকার ও গঠনের উপর নির্ভরশীল। এখন যদি একদল সৈন্য ঐ সেতুর উপর দিয়া শৃঙ্খলাবদ্ধভাবে মার্চ করিয়া যায় তবে তাহাদের নিয়মিত পদক্ষেপে সেতুতে পরবশ কম্পন শুরু হইবে এবং সেতুটি কাঁপিতে থাকিবে। যদি সেতুর নিজস্ব কম্পনের পর্যায়কাল পদক্ষেপের পর্যায়কালের সমান হয় তবে অনুনাদের সৃষ্টি হইবে এবং সেইক্ষেত্রে সেতুটি প্রবলবেগে আন্দোলিত হইবে। ইহাতে সেতুটি ভাঙিয়া পড়িবার সম্ভাবনা থাকে। এই কারণে সেতুর উপর দিয়া চলিবার সময় সৈন্যদলকে মার্চ করিতে দেওয়া হয় না। কিন্তু লোকজন, গাড়ী-ঘোড়া অনিয়মিতভাবে চলাচল করিলে কোন নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক না থাকায় পরবশ কম্পন নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে ঘটে না—ফলে অনুনাদ সৃষ্টি হয় না। উপরন্তু, সেতুতে সৃষ্ট কম্পন লোহার ফ্রেম বা কাঠের খুঁটি ইত্যাদির ভিতর দিয়া মাটিতে সঞ্চালিত হইয়া যায়।

(3) সেতার, বেহালা, তানপুরা ইত্যাদি তারের বাদ্যযন্ত্রে একটি ফাঁপা বাক্স থাকে। তারকে টান দিয়া বা আঘাত করিয়া যখন শব্দ সৃষ্টি করা হয় তখন বাক্সের বায়ুর পরবশ কম্পন ঘটে। ইহাতে অধিক পরিমাণ বায়ু আন্দোলিত হওয়ায় আওয়াজ জোরে হয়। উপরন্তু, বাক্সস্থিত বায়ুর স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক কম্পনশীল তারের কম্পাঙ্কের সমান হইলে অনুনাদ ঘটে, ইহাতে শব্দ খুব জোরালো হয়।

বাঁশীতে ফুঁ দিলে বা ফাঁকা কলসীতে জল ঢালিলে অভ্যন্তরস্থ বায়ুর পরবশ কম্পন ঘটে। বাঁশীতে ফুঁ-এর কম্পাঙ্ক বাঁশীর ভিতরের বাতাসের নিজস্ব কম্পাঙ্কের সমান হইলে বাঁশী জোরে বাজে। নলের মধ্যে অনুনাদ সৃষ্টি কম্পন ও তরঙ্গ বিজ্ঞানের চতুর্থ অধ্যায়ে বিস্তারিতভাবে আলোচনা করা হইয়াছে।

2.2b. দমিত কম্পন (Damped vibration) :

বস্তুর স্বাভাবিক ও পরবশ—যে-কোন প্রকার কম্পনই ঘটুক না কেন, কোন ক্ষেত্রেই কম্পন চিরস্থায়ী হয় না। অর্থাৎ কম্পনশীল বস্তু চিরকাল একই বিস্তার লইয়া দোলন করে না—সময়ের সঙ্গে সঙ্গে সাধারণভাবে ইহার বিস্তার কমিতে থাকে এবং একসময় উহা থামিয়া যায়। একটি সরল দোলকের পিণ্ডকে অল্প একটু টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা প্রথম যে বিস্তারে দোলন করে কিছুক্ষণ পরে দেখা যায় বিস্তার কিছুটা কমিয়াছে। এইভাবে কমিতে কমিতে একসময় দোলন সম্পূর্ণরূপে বন্ধ হইয়া যায়। স্বাভাবিক কম্পনের ক্ষেত্রে যদিও বস্তু বাহ্যিক বলের প্রভাবমুক্ত, তবু বস্তুর বিভিন্ন অংশের আভ্যন্তরীণ ঘর্ষণ বা সান্দ্রতা ও বাহিরের বায়ু বা মাধ্যমের ঘর্ষণ-বল বস্তুর গতিকে বাধা দিতে চেষ্টা করে। ইহার ফলে বস্তুর স্বাভাবিক কম্পন ব্যাহত হয় এবং বিস্তার ক্রমাগত কমিতে থাকে। এইরূপ সরল দোলগতিসম্পন্ন বস্তুর সময় সরণ লেখচিত্র অংকন করিলে সময়ের সঙ্গে বিস্তারের হ্রাস দেখা যাইবে (চিত্র 2.4)। এই ধরনের কম্পনকে **দমিত কম্পন** (damped vibration) বলে। পরবশ কম্পনও একই কারণে ক্ষীণ হইতে থাকে। সুতরাং স্বাভাবিক বা পরবশ কম্পনকে স্থায়ী করিতে হইলে বাহির হইতে শক্তির যোগান দিতে হয়। ঘড়িতে দম দেওয়া এই শক্তির সরবরাহের একটি দৃষ্টান্ত। বায়ুপ্রবাহে জলে

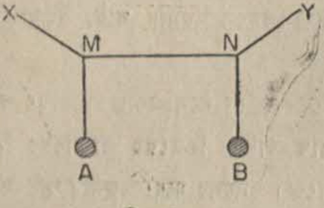


চিত্র 2.4

কম্পনের উদ্ভব হয়। বায়ুপ্রবাহ যতক্ষণ চলে, কম্পনও ততক্ষণ স্থায়ী হয়। বায়ুপ্রবাহ বন্ধ হইলে ধীরে ধীরে কম্পনও বন্ধ হইয়া যায়।

2.2c. যুগ্ম কম্পন (Coupled vibration) :

পরবশ কম্পনের ক্ষেত্রে সাধারণত চালকশক্তির উপর পরবশ কম্পনের কোন ক্রিয়া দেখা যায় না। সুতরাং পরবশ কম্পন সৃষ্টিকারী বস্তুর কম্পন অব্যাহত থাকে, পরবশ কম্পন সৃষ্টির আগে বা পরে ইহার কম্পনের কোন পরিবর্তন দেখা যায় না।



চিত্র 2.5

কিন্তু যদি উভয়ের ভর বা জাড্য সমান বা প্রায় সমান হয়, তবে একের কম্পন অন্যের কম্পনের উপর প্রভাব বিস্তার করে—ইহার ফলস্বরূপ একটি যুগ্ম কম্পনের সৃষ্টি হয়। একটি উদাহরণের সাহায্যে এই কম্পনের প্রকৃতি দেখান যাইতে পারে। মনে কর, *AM* এবং *BN* দুইটি সরলদোলক *XY* সুতার *M* এবং *N* বিন্দুদ্বয় হইতে ঝুলান হইয়াছে (চিত্র 2.5)। যদি *AM* দোলকের ভর *BN* দোলকের তুলনায় অনেক বেশী বা কম হয় তবে *AM* বা *BN* দোলকের যে কোন একটিকে সুতার আড়াআড়িভাবে কম্পন সৃষ্টি করিলে অন্যটিতে পরবশ সৃষ্টি হইবে। কিন্তু যদি উহাদের ভর এবং দৈর্ঘ্য একই হয় তবে যে-কোন একটিতে, ধর *AM* দোলকে, কম্পন সৃষ্টি করিলে *BN* দোলকে কম্পন সঞ্চারিত হইবে। *BN* দোলকের কম্পন-বিস্তার ধীরে ধীরে বাড়িবে, সেইসঙ্গে *AM* দোলকের কম্পন-বিস্তার ধীরে ধীরে কমিতে দেখা যাইবে এবং এক সময় উহা স্থির হইয়া যাইবে। ইহার পরে প্রক্রিয়াটি বিপরীত হইয়া যাইবে, অর্থাৎ *AM* দোলক *BN* দোলকের কম্পন হইতে শক্তি সংগ্রহ করিয়া পুনরায় দুলিতে থাকিবে। একই সঙ্গে *BN* দোলকের কম্পন কমিতে থাকিবে। এইভাবে যতক্ষণ না পর্যন্ত আভ্যন্তরীণ ঘর্ষণ ইত্যাদি কারণে সমস্ত শক্তি খরচ হয় ততক্ষণ প্রক্রিয়াটি চলিতে থাকে। ইহাই যুগ্ম কম্পনের প্রকৃতি।

প্রশ্নাবলী

1. একটি বস্তুকণার কম্পন মাধ্যমের মধ্যে অন্য কণাগুলিতে কিভাবে সঞ্চারিত হয়? উদাহরণসহ বিষয়টি বুঝাইয়া বল।

[How the vibration of a particle is transferred to other particles of a medium ? Explain it with an example.]

2. উদাহরণসহ বিভিন্ন প্রকার কম্পনের প্রকৃতি বুঝাইয়া বল। স্বাভাবিক কম্পন, পরবশ কম্পন ও অনুনাদ বলিতে কি বুঝ? পরবশ কম্পন ও অনুনাদের কয়েকটি উদাহরণ দাও।

[Explain the nature of different kinds of vibration with illustrations. What do you understand by free vibration, forced vibration and resonance? Give some examples of forced vibration and resonance.]

3. একটি সরল দোলককে দোলাইয়া দিলে উহার দোলনের বিস্তার ধীরে ধীরে কমিয়া যায় কেন? বস্তুর স্বাভাবিক বা পরবশ কম্পন স্থায়ী করিতে হইলে কি করা দরকার? যুগ্ম কম্পন কাহাকে বলে? একটি উদাহরণের সাহায্যে যুগ্ম কম্পন বুঝাইয়া বল।

[When a pendulum is made into vibration, its amplitude gradually diminishes—why? What is to be done to make sustained natural or forced vibration? What is coupled vibration? Explain coupled vibration with the help of an example.]

4. কারণ বল: (a) ঝুলন্ত কাঠের সেতুর উপর সৈন্যদের মার্চ করিতে দেওয়া হয় না। (b) তারের বাদ্যযন্ত্রে ফাঁপা বাক্স থাকে।

[Give reasons: (a) Soldiers are ordered not to march on hanging wooden bridges. (b) Stringed intruments are provided with hollow boxes.]

তৃতীয় অধ্যায়

চল-তরঙ্গ (Progressive Waves)

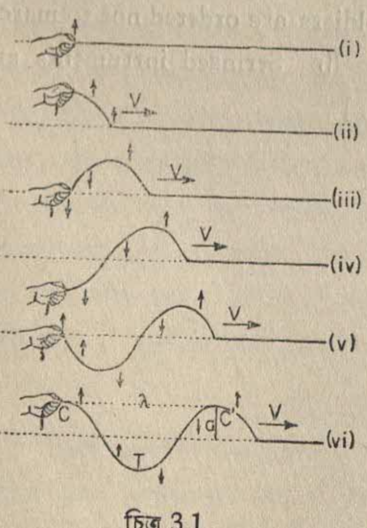
3.1. তরঙ্গ এবং উহার প্রকারভেদ (Waves and Different types of waves) :

বস্তুর পর্যাবৃত্ত কম্পন যখন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে কণায় কণায় সঞ্চারিত হয়, তখন কণাগুলি নিজেদের সাম্য-অবস্থানের দুইপাশে তির্যক বা অনুদৈর্ঘ্য কম্পন করে। প্রতিটি কণার একই ধরনের কম্পনের ফলে একটি আন্দোলন বিস্তার লাভ করে ; যে-কোন মুহূর্তে মাধ্যমের কণাগুলির বিন্যাস একটি ঢেউ বা তরঙ্গের আকার গঠন করে বলিয়া এই আন্দোলনকে **তরঙ্গ** বলা হয়। স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে তরঙ্গকে আমরা শক্তি স্থানান্তরের একটি পদ্ধতিও বলিতে পারি।

তরঙ্গ-বিস্তারের জন্য মাধ্যমটি স্থিতিস্থাপক ও জাড্যধর্মী হওয়া অবশ্য প্রয়োজন। স্থিতিস্থাপকতার জন্য কণাগুলি সাম্য-অবস্থান হইতে বিচ্যুত হইয়া পুনরায় সাম্য-অবস্থানের দিকে ফিরিয়া আসিতে চাহে, আর জাড্যধর্মের জন্য কণাগুলি সাম্য-অবস্থানের দুইপাশে আন্দোলন করে। মধ্যমটি সমসত্ত্ব হইলে শক্তি তরঙ্গের আকারে চতুর্দিকে সমানভাবে সঞ্চালিত হয়।

কণার কম্পন এবং তরঙ্গপ্রবাহের অভিমুখের বিচারে তরঙ্গকে তির্যক এবং অনুদৈর্ঘ্য—এই দুই ভাগে ভাগ করা হয়।

(1) **তির্যক তরঙ্গ (Transverse wave) : মাধ্যমের কণাগুলির পর্যাবৃত্ত কম্পনের ফলে সৃষ্ট তরঙ্গ যদি কণাগুলির গতির সমকোণে অগ্রসর হয় তবে ঐ তরঙ্গকে তির্যক তরঙ্গ বলা হয়।**



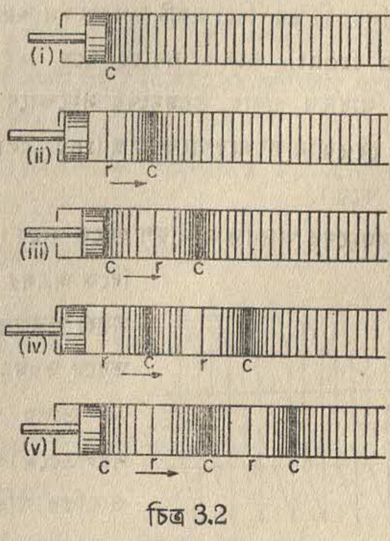
চিত্র 3.1

জলতলের উপর প্রবহমান তরঙ্গ বা টান-টান তারে আঘাত করিয়া যে তরঙ্গ সৃষ্টি করা হয়, তাহারা নিজ নিজ মাধ্যমের কণাগুলির তির্যক কম্পনের ফল। সুতরাং এইসব তরঙ্গকে তির্যক তরঙ্গ বলা হইবে। তির্যক তরঙ্গে কণাগুলির কম্পনের প্রকৃতি চিত্রে (চিত্র 3.1) দেখান হইয়াছে। একটি স্থিতিস্থাপক অনুভূমিক দড়ির একপ্রান্ত হাতে ধরিয়া হাতটিকে দড়ির আড়া-

আড়িভাবে নাড়িলে কণাগুলি উপর-নীচে কম্পন করিবে, আর দড়ি বরাবর একটি তির্যক তরঙ্গ প্রবাহিত হইবে। দোলনকালে হাতের বিভিন্ন অবস্থানে কণাগুলির কম্পন ও তরঙ্গপ্রবাহের অভিমুখ তীরচিহ্নের সাহায্যে দেখান হইয়াছে (*i*—*vi*)। হাতের একবার পূর্ণ দোলনের জন্য দড়ির কম্পনশীল কণাগুলির বিন্যাস একটি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি করে (চিত্র 3.1—*v*)। হাতটিকে এইভাবে ক্রমাগত আন্দোলিত করিলে দড়ি-বরাবর অসংখ্য তরঙ্গ বিস্তার লাভ করিবে। 3.1—***vi*** চিত্রে ইহার সূচনা দেখান হইয়াছে।

(2) **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ** (Longitudinal wave) : **মাধ্যমের কণাগুলির পর্যাবৃত্ত কম্পনের ফলে সৃষ্ট তরঙ্গ যদি কণাগুলির গতির সমান্তরালে অগ্রসর হয় তবে ঐ তরঙ্গকে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বলা হয়।**

অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গে কণার বা কণাস্তরের কম্পনের প্রকৃতি বুঝিবার জন্য মনে কর একটি পিস্টনযুক্ত দীর্ঘ অনুভূমিক চোঙে একটি গ্যাস আবদ্ধ আছে (চিত্র 3.2)। কতকগুলি খাড়া সমান্তরাল রেখার সাহায্যে গ্যাসের স্তরগুলি দেখান হইয়াছে। পিস্টনটিকে চোঙের ভিতরের দিকে ঠেলিলে পিস্টনের সামনের কিছু স্তর চাপে সঙ্কুচিত হইবে (চিত্র 3.2—*i*)। ইহাকে স্তরগুলির **ঘনীভবন** (condensation-c) বলে। পিস্টনটি এইবার পিছনের দিকে ঠেলিয়া আনিলে পিস্টন ও ঘনীভূত স্তরগুলির মাঝে একটি শূন্যতার সৃষ্টি হইবে, ফলে স্তরগুলি প্রসারিত হইয়া স্বাভাবিক অবস্থানে ফিরিয়া আসিতে চাহিবে (3.2—*ii*)। ইহাকে **তনীভবন** (rarefaction—*r*) বলে। স্তরগুলির প্রসারণ-জনিত চাপে



চিত্র 3.2

পরবর্তী কিছু গ্যাস-স্তর সংকুচিত হইয়া ঘনীভবন সৃষ্টি করে। পিস্টনটির একবার পূর্ণ দোলনের জন্য সৃষ্ট একটি তনীভবন ও একটি ঘনীভবন একটি অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ উৎপন্ন করে। এইভাবে পিস্টনটি যতবার সাম্য-অবস্থানের দুইপাশে যাতায়াত করিবে, ততগুলি অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ চোঙের অক্ষের

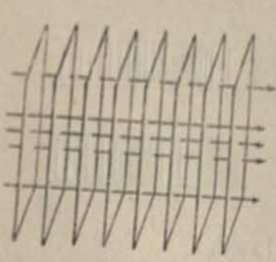
সমান্তরালে বা স্তরগুলির দোলনের সমান্তরালে বিস্তার লাভ করিবে। চিত্রগুলিতে এই আলোড়নের প্রবাহকে দেখান হইয়াছে।

গ্যাস বা বায়ুমাধ্যমে শব্দশক্তি ঘনীভবন ও তনীভবন সৃষ্টি করিয়া অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের আকারে প্রবাহিত হয়। একটি সুরশলাকার বাহুতে আঘাত করিলে বাহুর পর্যাবৃত্ত কম্পন বায়ুস্তরে অনুরূপ ঘনীভবন ও তনীভবন উৎপন্ন করিয়া বিস্তার লাভ করে। মাধ্যমের কণা বা স্তরগুলি সরল দোলগতি নির্বাহ করিলে সৃষ্ট তরঙ্গকে সরল দোলতরঙ্গ (simple harmonic wave) বলে।

মাধ্যমের মাত্রার (dimension) উপর নির্ভর করিয়া তরঙ্গ একমাত্রিক, দ্বিমাত্রিক বা ত্রিমাত্রিক হইতে পারে। যেমন, একটি দড়ি বা তারের উপর দিয়া প্রবাহিত তরঙ্গ একমাত্রিক, জলতল বা পাতের উপর দিয়া প্রবাহিত তরঙ্গ দ্বিমাত্রিক। শব্দ এবং আলোক তরঙ্গ উৎস হইতে নির্গত হইয়া ঘন-মাধ্যমে চতুর্দিকে বিস্তারলাভ করে—ইহারা ত্রিমাত্রিক।

কোন ত্রিমাত্রিক তরঙ্গের কথা ধরা যাক্। যে-কোন মুহূর্তে সমদশাসম্পন্ন কণাগুলির ভিতর দিয়া একটি তল অংকন করা যায়। এই তলকে **তরঙ্গমুখ** (wave front) বলে। সময়ের সঙ্গে এই তরঙ্গমুখ বিস্তারলাভ করে। সমসত্ব মাধ্যমে প্রবাহ তরঙ্গমুখের সমকোণে ঘটে। তরঙ্গমুখের লম্বদিকে কল্পিত যে-কোন সরলরেখাকে রশ্মি (ray) বলা হয়, ইহা প্রবাহের অভিমুখ নির্দেশ করে।

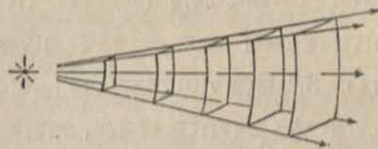
তরঙ্গমুখের আকৃতি নানারূপ হইতে পারে। আন্দোলন যখন একটিমাত্র দিকে অগ্রসর হয় তখন তরঙ্গকে **সমতল** বা **সরল তরঙ্গ** (plane wave) বলে। সরল তরঙ্গে তরঙ্গমুখগুলি সমতল এবং রশ্মিগুলি এই তলের অভিলম্ব। 3.3 চিত্রে এইরূপ সরলতরঙ্গে বিভিন্ন সময়ে তরঙ্গমুখের অবস্থান ও রশ্মির অভিমুখ দেখান হইয়াছে।



চিত্র 3.3

আবার, সমসত্ব মাধ্যমে তরঙ্গ যখন চতুর্দিকে সমানভাবে বিস্তারলাভ করে তখন আন্দোলনের কেন্দ্রবিন্দু হইতে সমদূরবর্তী কণাসমূহ সমদশাসম্পন্ন হয়। এই ক্ষেত্রে সমদশাসম্পন্ন কণাগুলির ভিতর দিয়া অংকিত তল একটি গোলক রচনা করিবে। এইরূপ তরঙ্গকে এই কারণে **গোলকীয় তরঙ্গ** (Spherical

wave) বলা হয়। 3.4 চিত্রে গোলকীয় তরঙ্গমুখের অংশবিশেষ এবং রশ্মির অভিমুখ দেখান হইয়াছে। উৎস হইতে দূরবর্তী গোলকীয় তরঙ্গমুখের অংশগুলি প্রায় সমতল বলিয়া ধরা যাইতে পারে।



চিত্র 3.4

প্রকৃতপক্ষে, সমতলীয় বা গোলকীয় ছাড়াও তরঙ্গমুখের আকৃতি নানারূপ হইতে পারে এবং তরঙ্গমুখের আকৃতি অনুযায়ী তরঙ্গের নামকরণ করা যাইতে পারে।

3.2. চল-তরঙ্গ এবং ইহার বৈশিষ্ট্য (Progressive wave and its characteristics) :

তির্যক এবং অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গগুলি যখন মাধ্যমের মধ্যে অগ্রসর হয় তখন উহাদের **চল-তরঙ্গ** বলে। চল-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি নিম্নরূপে লেখা যাইতে পারে।

(i) মাধ্যমের কণাগুলির নিরন্তর কম্পনের ফলে চল-তরঙ্গের সৃষ্টি হয় এবং একটি নির্দিষ্ট মাধ্যমে চল-তরঙ্গ একক সময়ে নির্দিষ্ট দূরত্ব অতিক্রম করে। ইহাকে চল-তরঙ্গের **তরঙ্গ-বেগ** (Wave velocity) বলে।

(ii) তরঙ্গ-মুখের অভিলম্ব-বরাবর শক্তি স্থানান্তরিত হয়—মাধ্যমের কণাগুলির স্থানান্তর ঘটে না।

(iii) চল-তরঙ্গে কোন কণার কম্পন-দশা তরঙ্গের বিস্তার-রেখা বরাবর পরবর্তী কণাতে হস্তান্তরিত হয়।

(v) মাধ্যমের প্রতিটি বিন্দুতে চাপ, ঘনত্ব ইত্যাদির পরিবর্তন একই ধরনের হইয়া থাকে।

3.2a. চল-তরঙ্গ সম্পর্কিত কয়েকটি রাশি (Some terms in connection with progressive waves) :

(i) **তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য** (Wave length) **:** তরঙ্গের উপর অবস্থিত পরপর দুইটি সমদশাসম্পন্ন কণার রৈখিক দূরত্বকে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বলে।

3.1 চিত্রের সর্বনিম্ন লেখটিতে C এবং C' বিন্দুদ্বয় পাশাপাশি সর্বাধিক ধনাত্মক সরণের অবস্থায় আছে, সুতরাং উহাদের রৈখিক দূরত্বকে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বলা হইবে। উক্ত বিন্দুদ্বয় তরঙ্গের যে অংশে আছে, তাহাদের **তরঙ্গ-শীর্ষ**

(wave-crest) বলে। বিপরীতভাবে, T বিন্দুটি সর্বাধিক ঋণাত্মক সরণ অবস্থায় থাকিয়া **তরঙ্গ-পাদ** (wave-trough) গঠন করিয়াছে।

অন্যভাবেও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের সংজ্ঞা দেওয়া যায়। উৎসের একটি পূর্ণ দোলনের জন্য মাধ্যমের মধ্যে তরঙ্গ যে দূরত্ব অতিক্রম করে, তাহাকে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বলা যায়। 3.1 চিত্রে v নং লেখটি দেখ। হাতের একবার পূর্ণ দোলনের জন্য দড়ির যে অংশটুকু তরঙ্গায়িত হইয়াছে, তাহাই তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের সমান।

(ii) **তরঙ্গের পর্যায়কাল** (Period of a wave) **:** যে সময়ে একটি পূর্ণতরঙ্গ সৃষ্টি হয়, তাহাকে তরঙ্গের পর্যায়কাল বলে। উৎসের পর্যায়কালই তরঙ্গের পর্যায়কাল।

(iii) **তরঙ্গের বিস্তার** (Amplitude of a wave) **:** তরঙ্গপ্রবাহের জন্য মাধ্যমের কণাগুলির সর্বাধিক সরণকে তরঙ্গের বিস্তার বলে। 3.1 চিত্রে C, T, C' বিন্দুগুলির সরণ তরঙ্গের বিস্তার।

(iv) **তরঙ্গের কম্পাঙ্ক** (Frequency of a wave) **:** এক সেকেণ্ডে মাধ্যমের মধ্যে যে কয়টি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি হয় তাহাকে তরঙ্গের কম্পাঙ্ক বলে। উৎসের প্রতিটি পূর্ণ কম্পনের জন্য একটি পূর্ণ তরঙ্গের উদ্ভব হয়। সুতরাং উৎসের কম্পাঙ্কই তরঙ্গের কম্পাঙ্ক।

3.2b. চল-তরঙ্গের রাশিগুলির পারস্পরিক সম্পর্ক (Relation among the terms of a progressive wave) **:**

কোন তরঙ্গের পর্যায়কাল T হইলে একটি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টির জন্য T সেকেণ্ড সময় লাগে। তরঙ্গের কম্পাঙ্ক n হইলে, এক সেকেণ্ডে n-টি পূর্ণ তরঙ্গ উৎপন্ন হয়।

$\therefore$ 1টি পূর্ণ তরঙ্গের জন্য $\frac{1}{n}$ সেকেণ্ড সময় লাগে।

$\therefore \frac{1}{n}=T$ বা, $nT=1$.

আবার, তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ হইলে, T সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব$=\lambda$

$\therefore$ 1 সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব$=\frac{\lambda}{T}$

$\therefore$ তরঙ্গ-বেগ V হইলে, $V=\frac{\lambda}{T}$

অথবা, $V=n\lambda \qquad \left[\because n=\frac{1}{T}\right]$

অর্থাৎ তরঙ্গ-বেগ=কম্পাঙ্ক × তরঙ্গদৈর্ঘ্য

3.3. চল-তরঙ্গের সমীকরণ (Equation of a progressive wave) :

চল-তরঙ্গের ক্ষেত্রে যেহেতু মাধ্যমের কণাগুলি সরল দোলগতি নির্বাহ করে, সেইহেতু তরঙ্গের উপর কোন কণার গতির সমীকরণটি আমরা নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করিতে পারি, $y=a \sin \omega t$, এখানে y, a, ωt যথাক্রমে t সময়ে সরণ, বিস্তার এবং দশাকোণ সূচিত করে।

চল-তরঙ্গ যখন মাধ্যমের ভিতর দিয়া অগ্রসর হয় তখন একটি কণা হইতে পরবর্তী কণাতে আন্দোলন সঞ্চারিত হয় এবং ইহার জন্য কিছুটা সময় লাগে। সুতরাং উক্ত কণা হইতে x দূরত্বে অবস্থিত অপর একটি কণার দশা একই হইবে না। শেষোক্ত কণাটি প্রথম কণার পরে আন্দোলিত হইলে, উহাদের মধ্যে দশা-পার্থক্য নিম্নলিখিতভাবে বাহির করা যায়।

পরপর দুইটি সমদশাসম্পন্ন কণার মধ্যে রৈখিক দূরত্ব λ এবং দশাপার্থক্য 2π (3.1 চিত্রে C এবং C' বিন্দুদ্বয়ের কথা ভাবা যাইতে পারে), সুতরাং,

x দূরত্বে অবস্থিত কণার দশা পার্থক্য $=\frac{2\pi}{\lambda}x$.

$\therefore$ x দূরত্বে অবস্থিত উপরিউক্ত কণার সরণ y হইলে, লেখা যায়,

$$y=a \, Sin\left(\omega t-\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

$$=a \, Sin\left(\omega t-\frac{2\pi}{VT}x\right)$$

$$=a \, Sin\left(\omega t-\frac{\omega}{V}x\right) \quad \left[\because \omega=\frac{2\pi}{T}\right]$$

$$=a \, Sin \, \omega\left(t-\frac{x}{V}\right)$$

দেখা যাইতেছে, t সময়ে কোন কণার সমীকরণ $y=a \sin \omega t$ হইলে, উক্ত কণা হইতে তরঙ্গ বিস্তারের অভিমুখে x দূরত্বে অপর একটি কণার একই সময়ে সরণ $y=a \sin \omega\left(t-\frac{x}{V}\right)$ সমীকরণ হইতে বাহির করা যায়। যেহেতু, x-এর মান ইচ্ছামত লওয়া যাইতে পারে, সেইহেতু শেষোক্ত সমীকরণটিকে সকল কণার গতির সাধারণ সমীকরণ বলা যাইতে পারে। ইহাই চলতরঙ্গের সাধারণ সমীকরণ। অবশ্য সমীকরণটি n, T, λ ইত্যাদির সাহায্যে নানাভাবে লেখা যাইতে পারে।

উদাহরণ (1) একটি বস্তু স্থির কম্পাঙ্কে কম্পিত হইয়া A মাধ্যমে 10 সে.মি. দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ এবং B মাধ্যমে 15 সে.মি. দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ সৃষ্টি করে। ঐ মাধ্যমদ্বয়ে তরঙ্গের বেগের তুলনা কর। [H.S. 1962]

উত্তর : A এবং B মাধ্যমে তরঙ্গের বেগদ্বয় যথাক্রমে V_1 এবং V_2 হইলে, আমরা $V=n\lambda$ সূত্র হইতে লিখিতে পারি,

$V_1=n\times 10$ এবং $V_2=n\times 15$, এখানে n বস্তুটির কম্পাঙ্ক।

$$\therefore \frac{V_1}{V_2}=\frac{n\times 10}{n\times 15}=\frac{2}{3}$$

$$\therefore \mathbf{V_1 : V_2 = 2 : 3.}$$

(2) বাতাসে শব্দের বেগ 1120 ফুট/সেকেণ্ড হইলে, 264 কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকা হইতে নিঃসৃত শব্দতরঙ্গের 154 ফুট যাইতে শলাকার কতগুলি কম্পন হইবে?

উত্তর : সুরশলাকা হইতে নিঃসৃত শব্দতরঙ্গের দৈর্ঘ্য=

$$\frac{\text{শব্দের বেগ}}{\text{সুরশলাকার কম্পাঙ্ক}}=\frac{1120}{264} \text{ ফুট।}$$

সুতরাং সুরশলাকার একবার পূর্ণ কম্পনে শব্দতরঙ্গ $\frac{1120}{264}$ ফুট অগ্রসর হয়।

$$\therefore \text{ শব্দের 154 ফুট যাইতে শলাকার কম্পন সংখ্যা}=\frac{154}{1120/264}$$

$$=\frac{154\times 264}{1120}=36{\cdot}3$$

অর্থাৎ প্রায় 36টি কম্পন করিবে।

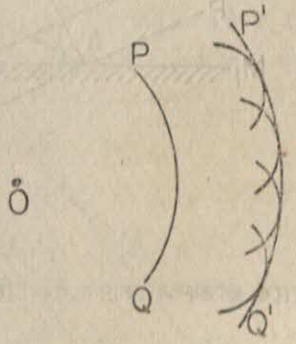
3.4. হায়জেনের তরঙ্গ-বিস্তার-নীতি (Huyghen's principle on wave-propagation) :

মাধ্যমে তরঙ্গের বিস্তার ব্যাখ্যা করিতে গিয়া বিজ্ঞানী হায়জেন সর্বপ্রথম কতকগুলি ধারণা দেন। দেখা গিয়াছে, তাঁহার ধারণার উপর ভিত্তি করিয়া আলোক ও শব্দের প্রতিফলন, প্রতিসরণ ইত্যাদি ঘটনাসমূহের ব্যাখ্যা করা সম্ভব। তরঙ্গ-বিস্তারের উপর হায়জেনের প্রস্তাবিত তত্ত্ব হায়জেনের নীতি নামে পরিচিত। হায়জেনের নীতিটির মূল কথা হইল :

(i) তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দুকে আন্দোলনের একটি নূতন উৎস বলিয়া বিবেচনা করিতে হইবে।

(ii) মূল উৎস হইতে যেভাবে তরঙ্গসমূহ বাহির হয়, ঠিক তেমনি যে-কোন তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দু হইতে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র তরঙ্গ বাহির হয়। ইহাদের গৌণ তরঙ্গ বলে।

(iii) যে-কোন তরঙ্গমুখ হইতে নিঃসৃত গৌণ তরঙ্গসমূহ নূতন তরঙ্গমুখ গঠন করে। 3.5 চিত্রে হায়জেনের নীতিকে সহজভাবে দেখান হইয়াছে। O বিন্দু মূল উৎস এবং যে কোন একটি সময়ে PQ যেন একটি তরঙ্গমুখ। হায়জেনের নীতি অনুযায়ী, PQ তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দু ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র গৌণ উৎসের কাজ করিবে। t সময় পরে তরঙ্গমুখের অবস্থিতি কোথায় হইবে তাহা জানিতে হইলে PQ তলের প্রতিটি বিন্দু হইতে $V.t$ ব্যাসার্ধের বৃত্তচাপ অংকন করিয়া ঐ বৃত্তচাপগুলির স্পর্শকতল অংকন করিলে উহাই নির্ণেয় তরঙ্গমুখ হইবে। চিত্রে $P'Q'$ উক্ত সময়ে তরঙ্গমুখ নির্দেশ করিতেছে।



চিত্র 3.5

এখন হায়জেনের নীতির সাহায্যে কিভাবে প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্রগুলি ব্যাখ্যা করা যায় তাহা নিম্নে দেখান হইল।

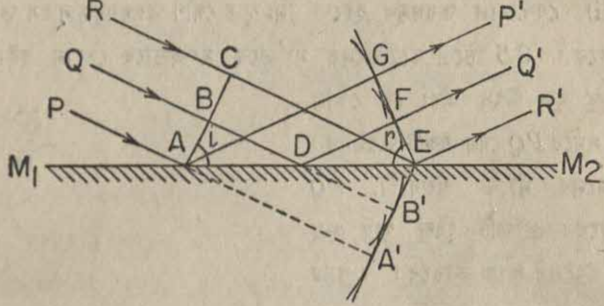
3.5. সমতলে সরল তরঙ্গের প্রতিফলন (Reflection of a plane wave at a plane surface) :

হায়জেনের তরঙ্গতত্ত্বের সাহায্যে সমতলে সরল তরঙ্গের প্রতিফলনের নিয়মগুলি ব্যাখ্যা করা যাইতে পারে। 3.6 চিত্রে M_1M_2 দর্পণের উপর একটি সমতল তরঙ্গ আপতিত হইয়াছে। মনে করা যাক, PA, QB এবং RC যেন তিনটি সমান্তরাল রশ্মি এবং কোন সময়ে AC যেন তরঙ্গমুখ নির্দেশ করে। এই তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দুই গৌণ তরঙ্গের উৎস এবং মনে করা হইল এইরূপ একটি বিন্দু C হইতে t সময়ে তরঙ্গমুখ যেন E বিন্দুতে পৌছিল। সুতরাং $CE=V.t$, V=তরঙ্গবেগ।

AC তরঙ্গমুখের A বিন্দু হইতে নির্গত তরঙ্গ M_1M_2 প্রতিফলকে প্রতিফলিত হইবে। A-কে কেন্দ্র করিয়া $V.t$ সমান ব্যাসার্ধ লইয়া একটি

বৃত্তচাপ টানা হইল। E বিন্দু হইতে ঐ বৃত্তচাপের উপর স্পর্শকতল EG টানা হইল। সুতরাং EG হইবে t সময়ে প্রতিফলিত তরঙ্গমুখ।

আপতিত তরঙ্গমুখ প্রতিফলকের সহিত যে কোণ সৃষ্টি করে তাহাকে আপতন কোণ এবং প্রতিফলিত তরঙ্গমুখ প্রতিফলকের সহিত যে কোণ করে



চিত্র 3.6

তাহাকে প্রতিফলন কোণ বলে। চিত্রে i ও r যথাক্রমে আপতন ও প্রতিফলন কোণ।

এখন AC তরঙ্গমুখের অপর যে-কোন বিন্দু, ধরা যাক, B হইতে একটি তরঙ্গমুখ t সময়ে D বিন্দুতে প্রতিফলিত হইয়া F বিন্দুতে পৌছিবে। EG প্রতিফলিত তরঙ্গমুখ হইলে প্রমাণ করিতে হইবে যে, F বিন্দু EG তলের উপর অবস্থান করিবে।

প্রমাণ: M_1M_2 প্রতিফলকটি না থাকিলে তরঙ্গমুখ AC হইতে t সময় পরে EA' অবস্থানে আসিত, অর্থাৎ $AA'=V.t=AG$ হইত।

এখন, AGE এবং DFE ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ, সুতরাং $\frac{AE}{DE}=\frac{AG}{DF}$ ......(1)

আবার, $AA'E$ এবং $DB'E$ ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ; সুতরাং

$$\frac{AE}{DE}=\frac{AA'}{DB'} \quad ......(2)$$

(1) এবং (2) হইতে, $\frac{AG}{DF}=\frac{AA'}{DB'}$, কিন্তু $AG=AA'=V.t$

$$\therefore \quad DF=DB'$$

অর্থাৎ, B' বিন্দুর অবস্থান প্রতিফলিত অবস্থায় F বিন্দুতে হইবে। যেহেতু, B' বিন্দু $A'E$ তরঙ্গমুখের উপর উপস্থিত, সুতরাং F বিন্দু EG প্রতিফলিত তরঙ্গমুখের একটি বিন্দু হইবে। এইভাবে AC-র প্রতিটি বিন্দু

লইয়া প্রমাণ করা যায় যে, t সময়ে তরঙ্গমুখ প্রতিফলিত হইয়া EG অবস্থানে আসিবে।

আবার $\triangle CAE$ এবং $\triangle GEA$ সর্বসম বলিয়া

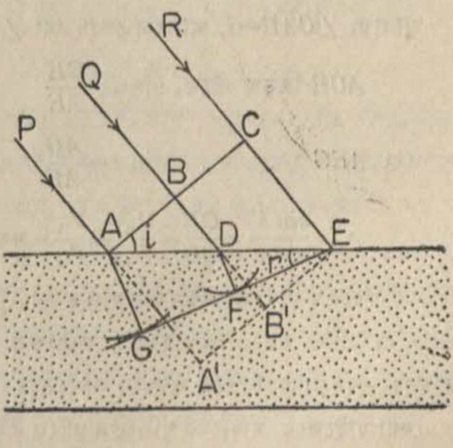
$\angle CAE = \angle GEA$

$\therefore \; i = r$, অর্থাৎ আপতন কোণ=প্রতিফলন কোণ।

রশ্মিগুলি, তরঙ্গমুখ, অভিলম্ব ইত্যাদি সকলে কাগজের তলে অবস্থান করিতেছে। সুতরাং প্রতিফলনের নিয়মগুলি প্রমাণিত হয়।

3.6 সরলতরঙ্গের প্রতিসরণ (Refraction of a plane wave) **:**

হায়জেনের নীতি অনুযায়ী তরঙ্গের প্রতিসরণও ব্যাখ্যা করা সম্ভব। 3.7 চিত্রে লঘু-মাধ্যমে AC একটি তরঙ্গমুখ দেখান হইয়াছে। তরঙ্গমুখের A বিন্দুটি দুই মাধ্যমের বিভেদতল AE-র উপর অবস্থিত। C-তরঙ্গমুখের C বিন্দু হইতে গৌণ তরঙ্গ t সময়ে যেন E বিন্দুতে পৌছিল, অর্থাৎ $CE = V_1 t$, V_1= লঘু-মাধ্যমে তরঙ্গের গতিবেগ।



চিত্র 3.7

ঘন-মাধ্যমে তরঙ্গবেগ V_2 হইলে, A বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া $V_2 t$ সমান ব্যাসার্ধ লইয়া ঘন-মাধ্যমে একটি বৃত্তচাপ অঙ্কন করা হইল। E বিন্দু হইতে ঐ বৃত্তচাপের উপর EG স্পর্শকতল টানা হইল। সুতরাং t সময়ে ঘন-মাধ্যমে তরঙ্গমুখের অবস্থান হইবে EG, অর্থাৎ ইহাই প্রতিসৃত তরঙ্গমুখ।

এখন, AC তরঙ্গমুখের অপর একটি বিন্দু B হইতে নিঃসৃত তরঙ্গ D বিন্দুতে প্রতিসৃত হইয়া একই সময়ে (t) F বিন্দুতে পৌছিবে। EG প্রতিসৃত স্পর্শকতল হইলে F বিন্দু EG তলে অবস্থান করিবে।

প্রমাণ : মাধ্যমের পরিবর্তন না ঘটিলে t সময়ে তরঙ্গমুখ AC হইতে $A'E$-তে আসিত, অর্থাৎ $AA' = CE = V_1 t$।

এখন, AGE এবং DFE ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ, $\therefore \quad \frac{AE}{DE} = \frac{AG}{DF} \cdots\cdots (1)$

আবার, $AA'E$ এবং $DB'E$ ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ, $\therefore \quad \frac{AE}{DE}=\frac{AA'}{DB'} \cdots (2)$

(1) এবং (2) হইতে, $\frac{AG}{DF}=\frac{AA'}{DB'}$

$$\text{বা } \frac{V_2t}{DF}=\frac{V_1t}{DB'}$$

$$\text{বা } \frac{DF}{V_2}=\frac{DB'}{V_1}$$

অর্থাৎ, D বিন্দু হইতে যে সময়ে তরঙ্গ V_1 বেগে B' বিন্দুতে যাইত, সেই সময়ে তরঙ্গ ঘন-মাধ্যমে V_2 বেগে F বিন্দুতে যায়। সুতরাং F বিন্দু EG তরঙ্গমুখের উপর অবস্থান করে। এইভাবে প্রতিটি বিন্দুর ক্ষেত্রে ইহা দেখান যায় যে, EG প্রতিসৃত তরঙ্গমুখ হইবে।

আবার, $\angle CAE=i$, আপতন কোণ এবং $\angle AEG=r$, প্রতিসরণ কোণ।

ACE ত্রিভুজ হইতে, $\sin i=\frac{CE}{AE}$

এবং AEG " " $\sin r=\frac{AG}{AE}$

$$\therefore \quad \frac{\sin i}{\sin r}=\frac{CE}{AG}=\frac{V_1t}{V_2t}=\frac{V_1}{V_2}=\text{ধ্রুবক।}$$

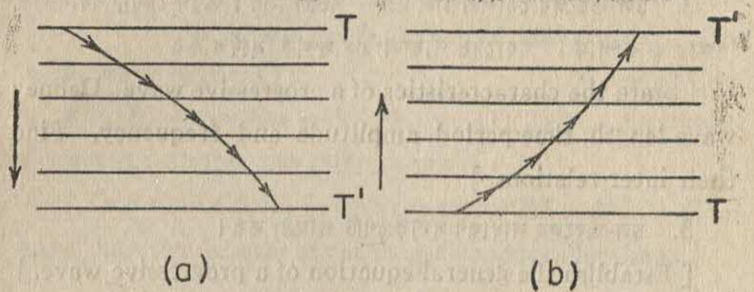
এই ধ্রুবকের মান মাধ্যমদ্বয়ের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল। সুতরাং স্নেলের সূত্রটি প্রমাণিত হয়। ইহা ছাড়া, আপতিত, প্রতিসৃত তরঙ্গমুখগুলি এবং অভিলম্ব—সকলে একই তলে অবস্থান করিতেছে।

দেখা যাইতেছে, মাধ্যমের পরিবর্তন ঘটিলে বিভেদতলে তরঙ্গের গতিপথ পরিবর্তিত হয়। শব্দ বা আলোক—যে-কোন তরঙ্গের ক্ষেত্রে ইহা সত্য এবং একই নিয়মানুসারে ইহা সংঘটিত হয়। আলোকতরঙ্গের প্রতিসরণের ঘটনা তোমরা আলোকবিজ্ঞানে বিশদভাবে পাঠ করিয়াছ। শব্দের প্রতিফলনের নানা পরীক্ষা এবং প্রতিধ্বনি সম্বন্ধে তোমরা মাধ্যমিক শ্রেণীতে অবগত হইয়াছ। এখানে বায়ুস্তরের তাপমাত্রার বিভিন্নতা ও বায়ুপ্রভাবের কারণে শব্দতরঙ্গের প্রতিসরণ আলোচনা করা হইল।

3.7. বায়ুস্তরে শব্দতরঙ্গের প্রতিসরণ (Refraction of sound waves at different layers of the atmosphere) :

(a) তাপমাত্রার বিভিন্নতার কারণে প্রতিসরণ : রাত্রিবেলা ভূ-পৃষ্ঠ তাপ-বিকিরণের জন্য শীতল হয়, কিন্তু উপরের বাতাস অপেক্ষাকৃত উষ্ণ

থাকে। ফলে, বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তর বিভিন্ন ঘনত্বে থাকে, নীচের স্তরের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী, উপরের স্তরের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা কম। শব্দের বেগ লঘু-বায়ু মাধ্যমে বেশী এবং ঘন-মাধ্যমে কম হয়। ফলে, শব্দ ঊর্ধদিকে যাইবার কালে ঘন-মাধ্যম হইতে অপেক্ষাকৃত লঘু-মাধ্যমে প্রবেশ করে এবং অনুকূল



চিত্র 3.8

অবস্থায় পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া নীচের দিকে নামে। 3.8a চিত্রে এইরূপ নিম্নগামী শব্দতরঙ্গকে দেখান হইয়াছে। পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য বায়ুস্তরে শব্দের শোষণও কম হইয়া থাকে, ফলে রাত্রিবেলা অনেক দূরের কথাবার্তা বা শব্দ পরিষ্কার শোনা যায়।

দিনের বেলা বায়ুস্তরগুলির ঘনত্ব নীচে কম হয় এবং ঊর্ধে বেশী থাকে। ফলে শব্দতরঙ্গ উপর দিকে উঠিয়া যায় এবং রাত্রিবেলার বিপরীত অবস্থার সৃষ্টি হয় (চিত্র 3.8b)। ফলে, দিনের বেলা দূরের কথাবার্তা পরিষ্কার শোনা যায় না। 3.8 চিত্রে উভয়ক্ষেত্রেই $T'<T$ দেখান হইয়াছে।'

(b) **বায়ুপ্রবাহের ফলে প্রতিসরণ:** জোর বায়ুপ্রবাহ থাকিলে উপরের স্তরে বায়ুর বেগ নীচের স্তর অপেক্ষা বেশী থাকে, কারণ, নীচে গাছ-পালা, বাড়ী-ঘর ইত্যাদিতে বায়ুপ্রবাহ বাধাপ্রাপ্ত হয়। ফলে, প্রবাহের অনুকূলে শব্দ প্রবাহিত হইলে শব্দের তরঙ্গমুখ নীচের দিকে বাঁকিয়া যায় (3.8a চিত্রের মত)। ইহাতে শব্দ দূর হইতে স্পষ্ট শোনা যায়। বায়ুপ্রবাহের বিপরীতে শব্দপ্রবাহ ঘটিলে শব্দের তরঙ্গমুখ ঊর্ধমুখী হইয়া যায়—ইহাতে শব্দ অস্পষ্ট হয়, অনেক সময় শোনা যায় না।

প্রশ্নাবলী

1. তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ কাহাকে বলে? প্রত্যেকের একটি করিয়া উদাহরণ দাও। তরঙ্গমুখ কি? বিভিন্ন প্রকার তরঙ্গমুখের নাম বল।

[What are transverse and longitudinal waves ? Give an example of each type. What is a wave-front ? Name the different types of wave-fronts.]

2. চল-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি বল। সংজ্ঞা লিখ : তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য, পর্যায়কাল, বিস্তার ও কম্পাঙ্ক। উহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক নির্দেশ কর।

[State the characteristics of a progressive wave. Define : wave-length, time-period, amplitude and frequency. Find their inter-relations.]

3. চল-তরঙ্গের সাধারণ সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।

[Establish the general equation of a progressive wave.]

4. হায়জেনের তরঙ্গবিস্তার নীতি ব্যাখ্যা কর। ইহার সাহায্যে সমতলে তরঙ্গের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ কিভাবে ব্যাখ্যা করা যায় ?

[Explain Huyghen's principle on wave propagation. How the phenomena of reflection and refaction of a plane wave at plane surface can be explained with its help ?]

5. তাপমাত্রার বিভিন্নতা ও বায়ুপ্রবাহের কারণে বায়ুস্তরে শব্দতরঙ্গের প্রতিসরণের ঘটনা ব্যাখ্যা কর।

[Explain the refraction of sound waves at different layers of atmosphere due to difference of temperature and wind velocity.]

6. ব্যাখ্যা কর :

(a) ঠাণ্ডা শীতের রাত্রিতে অনেক দূরের শব্দ শোনা যায়।

(b) বায়ুপ্রবাহের বিপরীত অপেক্ষা অনুকূলে শব্দ দূর হইতে শোনা যায়।

[Explain :

(a) Sound from a distance is heard in a cold winter night.

(b) Sound is heard at greater distances in the direction of the wind than in the opposite direction.]

7. একটি স্বরশলাকা সেকেণ্ডে 254 বার স্পন্দিত হয়। ইহা হইতে নিঃসৃত শব্দের বেগ 1143 ফুট/সেকেণ্ড হইলে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[H. S. 1964]

[A tuning fork vibrates 254 times a second. The sound wave it emits travels with a speed of 1143 ft./sec. What is the wave length ?] [Ans : 4·5 ft.]

8. দুইটি স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক 256 এবং 480. বায়ুতে উহারা যে শব্দ উৎপন্ন করিবে তাহাদের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের তুলনা কর।

[Two tuning forks have frequencies 256 and 480. Compare the wave-lengths of the sound produced by them.]

[Ans : 15 : 8]

9. যখন একটি স্বরশলাকার শব্দ বায়ু-মাধ্যমে বিস্তার লাভ করিতেছে তখন দুইটি পরপর ঘনীভবনের ভিতরকার দূরত্ব $1\frac{1}{3}$ মিটার দেখা গেল। বায়ুতে শব্দের বেগ 320 মিটার/সেকেণ্ড হইলে স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক কত ?

[H. S. 1960]

[If the distance between a pair of adjacent condensations in air be $1\frac{1}{3}$ metres when the sound of a tuning fork is propagated through it and the velocity of sound in air be 320 metres/second, what is the frequency of the tuning fork ?] [Ans : 240]

10. একটি স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক 200 ; উহা যে-শব্দ সৃষ্টি করে তাহার গতিবেগ 1100 ফুট/সেকেণ্ড। শব্দতরঙ্গের পর্যায়কাল ও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [H. S. 1966]

[The frequency of a fork is 200 ; the speed of sound it emits is 1100 ft/sec. Find the period and the wave-length.]

[Ans. 0·005 sec ; 5·5 ft]

চতুর্থ অধ্যায়

তরঙ্গের উপরিপাত ও স্থাণুতরঙ্গ

(Superposition of Waves and Stationary Waves)

4.1. তরঙ্গের উপরিপাত ও ইহার নীতি (Superposition of waves and its principle) :

মাধ্যমের একই অংশের এবং একই রেখায় একাধিক তরঙ্গের পরস্পরের উপর আপতিত হওয়ার ঘটনাকে তরঙ্গের উপরিপাত বলে।

উপরিপাতের নীতি অনুযায়ী, মাধ্যমের যে-কোন কণার লব্ধ সরণ প্রত্যেকটি তরঙ্গ পৃথক্ ভাবে ঐ কণার যে সরণ সৃষ্টি করিত তাহাদের ভেক্টর বা বীজগাণিতিক যোগের সমান। মনে কর, একটি তরঙ্গের জন্য মাধ্যমের কোন কণার কোন এক সময়ে সরণ y_1 এবং একই সময়ে দ্বিতীয় একটি তরঙ্গের জন্য ঐ কণার সরণ y_2, তাহা হইলে উহাদের উপরিপাতের জন্য উক্ত কণাটির লব্ধ সরণ হইবে, $y=y_1+y_2$। বীজগাণিতিক যোগ বলিতে y_1 এবং y_2-র চিহ্নসহ (ধনাত্মক বা ঋণাত্মক) যোগ বুঝায়। উক্ত ক্ষেত্রে, প্রথম তরঙ্গের জন্য যদি y_1 পরিমাণ সরণ ধনাত্মক দিকে হয় এবং দ্বিতীয় তরঙ্গের জন্য y_2 পরিমাণ সরণ ঋণাত্মক দিকে হয়, তবে লব্ধ সরণ, $y=y_1-y_2$। $y_1=y_2$ হইলে, $y=0$, অর্থাৎ ঐ সময়ে কণাটির কোন স্পন্দন ঘটিবে না।

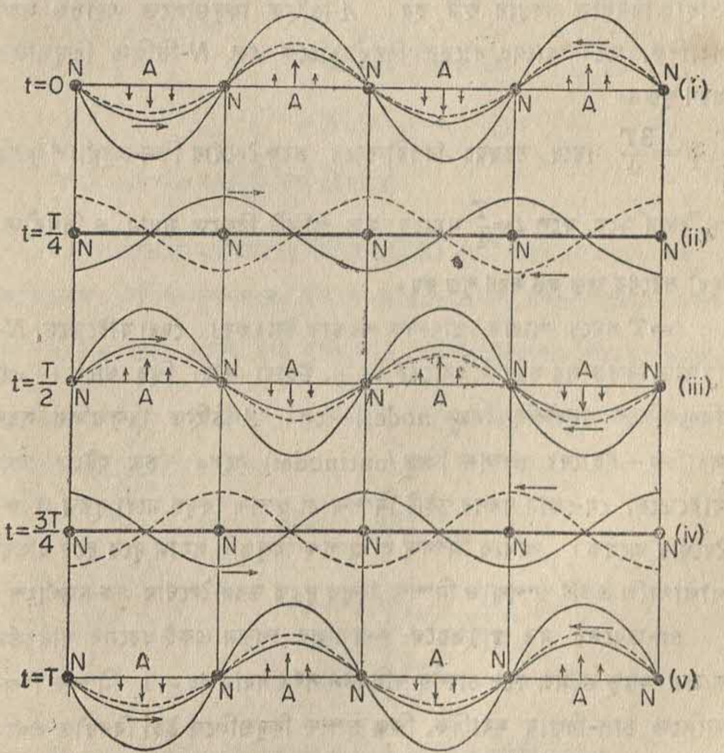
4.2. স্থাণুতরঙ্গ (Stationary Waves) :

স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি তরঙ্গের উপরিপাতের একটি বিশেষ ঘটনা। যখন **কোন সমসত্ত্ব স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কোন অংশে ঠিক একই প্রকার দুইটি বিপরীতমুখী চল-তরঙ্গ (উহাদের কম্পাঙ্ক, গতিবেগ, বিস্তার ইত্যাদি সমান) পরস্পরের উপর আপতিত হয়, তখন কোন তরঙ্গই আর সচল থাকে না, পরিবর্তে অন্য একপ্রকার তরঙ্গের সৃষ্টি হয় যাহা একই স্থানে আবদ্ধ থাকে এবং পর্যায়ক্রমে উৎপন্ন এবং বিলুপ্ত হয়**; এই ধরণের তরঙ্গকে **স্থাণুতরঙ্গ** বলে। বাস্তবক্ষেত্রে, একটি মূল চল-তরঙ্গ এবং উহার প্রতিফলিত বিপরীতগামী চল-তরঙ্গের উপরিপাতের সাহায্যে স্থাণুতরঙ্গ উৎপন্ন করা হয়।

লেখচিত্রের সাহায্যে দুইটি সর্বসম ও বিপরীতগামী চল-তরঙ্গের উপরিপাত ও তজ্জন্য সৃষ্ট স্থাণুতরঙ্গের উৎপত্তি ও প্রকৃতি দেখান যাইতে পারে। 4.1

চিত্রে এইরূপ দুইটি চল-তরঙ্গকে টানা সরু লাইন এবং কাটা লাইন দ্বারা দেখান হইয়াছে এবং উহাদের বিস্তারের অভিমুখ তীরচিহ্নের সাহায্যে নির্দেশ করা হইয়াছে।

$t=0$ সময়ে তরঙ্গদ্বয় একই দশায় পরস্পরের উপর আপতিত হইয়াছে, ইহাতে উহাদের তরঙ্গ-শীর্ষগুলি একই স্থান অধিকার করিয়াছে। অনুরূপভাবে, উভয়ের তরঙ্গপাদগুলিও মিলিয়া গিয়াছে। এই সময়ে উহাদের লব্ধ তরঙ্গটি



চিত্র 4.1

মোটা রেখা দ্বারা দেখান হইয়াছে। A-চিহ্নিত বিন্দুগুলিতে সরণের পরিমাণ সর্বাধিক এবং N বিন্দুগুলিতে সরণ শূন্য। $t=\frac{T}{4}$ সময়ে তরঙ্গ দুইটি নিজ নিজ অভিমুখের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ দূরত্ব অতিক্রম করে, ফলে, একটির তরঙ্গশীর্ষ অপর তরঙ্গের তরঙ্গ-পাদের সহিত মিলিয়া যায় এবং লব্ধ সরণ শূন্য হয়। এইভাবে প্রতিটি বিন্দুরই সমান ও বিপরীতমুখী সরণের ফল

শূন্য হয় এবং লব্ধ লেখ একটি সরলরেখা হয়। চিত্রে মোটা রেখা দ্বারা ইহা দেখানো হইয়াছে।

$t=\frac{T}{2}$ সময়ে তরঙ্গদ্বয় নিজ নিজ অভিমুখে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অর্ধেক দূরত্ব অতিক্রম করে, ফলে, এই সময়ে আবার একটির তরঙ্গশীর্ষ অপর তরঙ্গের তরঙ্গ-পাদের সহিত মিলিয়া যায়। ফলে, 4.1—i চিত্রে যে অবস্থা দেখা যাইতেছে, তাহার বিপরীত অবস্থার সৃষ্টি হয়। *A*-চিহ্নিত বিন্দুগুলিতে এবারও সরণ সর্বাধিক, তবে আগের বারের বিপরীতদিকে এবং *N*-চিহ্নিত বিন্দুগুলির সরণ শূন্য।

$t=\frac{3T}{4}$ সময়ে তরঙ্গদ্বয় বিপরীতমুখে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের তিন-চতুর্থাংশ দূরত্ব অতিক্রম করে, ফলে $t=\frac{T}{4}$ সময়ের মত প্রতিটি বিন্দুতে সমান ও বিপরীত-মুখী সরণের জন্য লব্ধ সরণ শূন্য হয়।

$t=T$ সময়ে আবার প্রাথমিক অবস্থার উদ্ভব হয়। দেখা যাইতেছে, *N*-চিহ্নিত বিন্দুগুলির সরণ একেবারেই হয় না, উহারা সর্বদা স্থির থাকে। এই বিন্দুগুলিকে **নিস্পন্দ বিন্দু** (nodes) বলে। *A*-চিহ্নিত বিন্দুগুলির সরণ সর্বাধিক—ইহাদের **সুস্পন্দ বিন্দু** (antinodes) বলে। চিত্র হইতে দেখা যাইতেছে, যে-কোন পরপর দুইটি নিস্পন্দ বা সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অর্ধেক। আবার নিস্পন্দ বা সুস্পন্দ বিন্দুগুলি সমান দূরে দূরে বলিয়া পাশাপাশি একটি সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ।

চল-তরঙ্গের মত স্থাণুতরঙ্গে কণাগুলির স্পন্দন একই ধরনের পরিবর্তন চক্রের অন্তর্ভুক্ত নয়, ফলে চাপের পরিবর্তন সর্বত্র সমান হয় না। নিস্পন্দ বিন্দু-গুলিতে চাপ-বিস্তার সর্বাধিক, কিন্তু সুস্পন্দ বিন্দুগুলিতে ইহা বিপরীত অর্থাৎ সর্বনিম্ন। ফলে, নিস্পন্দ বিন্দুগুলিতে ঘনত্বের পরিবর্তন সর্বাধিক আর সুস্পন্দ বিন্দুগুলিতে এই পরিবর্তন শূন্য।

4.3. গাণিতিক পদ্ধতিতে স্থাণুতরঙ্গের ব্যাখ্যা (Explanation of stationary waves by analytical method) :

স্থাণুতরঙ্গ সৃষ্টিকারী চল-তরঙ্গ দুইটিকে আমরা নিম্নোক্ত সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করিতে পারি।

$$y_1 = a \sin \omega\left(t - \frac{x}{V}\right)$$

এবং $y_2 = a \sin \omega\left(t + \frac{x}{V}\right)$, প্রথমক্ষেত্রে V ধনাত্মক ধরিলে, দ্বিতীয়-ক্ষেত্রে উহা ঋণাত্মক ধরিতে হইবে (বিপরীতমুখী বলিয়া)।

$\therefore$ লব্ধ সরণ, $y = y_1 + y_2 = a \sin \omega\left(t - \frac{x}{V}\right) + a \sin \omega\left(t + \frac{x}{V}\right)$

$$= 2a \sin \omega t \cos \frac{\omega x}{V}.$$

$$= 2a \cos \frac{\omega x}{V} \sin \omega t$$

$$= A \sin \omega t \cdots\cdots (1)$$

এখানে, $A = 2a \cos \frac{\omega x}{V}$ ধরা হইয়াছে।

দেখা যাইতেছে, লব্ধ সরণের সমীকরণটি (1) একটি সরল দোলগতি প্রকাশ করিতেছে। কিন্তু চল-তরঙ্গ প্রকাশ করিতেছে না [দশা-কোণের ভিতর $\left(t - \frac{x}{V}\right)$-র ন্যায় রাশি নাই বলিয়া]। সৃষ্ট স্থাণুতরঙ্গের বিস্তার স্পষ্টতই, $A = 2a \cos \frac{\omega x}{V}$. এখানে x-এর মানের বিভিন্নতার উপর অর্থাৎ বিভিন্ন বিন্দুতে বিস্তারের মান বিভিন্ন হইবে।

এখন, $A = 2a \cos \frac{\omega x}{V}$

$$= 2a \cos \frac{2\pi x}{VT} \quad \left[\because \omega = \frac{2\pi}{T}\right]$$

$$= 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \quad [\because VT = \lambda]$$

(1) $x = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda, \cdots n\lambda$ ($n = 0, 1, 2, 3,$ ইত্যাদি) হইলে,

$A = \pm 1$, অর্থাৎ ঐ সকল বিন্দুতে সরণ সর্বাধিক (সুস্পন্দ বিন্দু)

(2) $x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \cdots (2n+1)\frac{\lambda}{4}$ ($n = 0, 1, 2, 3,$ ইত্যাদি)

অর্থাৎ x-এর মান $\frac{\lambda}{4}$-এর অযুগ্ম গুণিতক হইলে, $A = 0$, অর্থাৎ ঐ সকল বিন্দুর সরণ সর্বদা শূন্য (নিস্পন্দ বিন্দু)।

দেখা যাইতেছে, পরপর দুইটি সুস্পন্দ (বা নিস্পন্দ) বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব $= \frac{\lambda}{2}$.

4.4. চল-তরঙ্গ ও স্থাণুতরঙ্গের পার্থক্য (Distinction between progressive and stationary waves) :

(1) চলতরঙ্গ সম্মুখের দিকে বিস্তার লাভ করে, কিন্তু দুইটি বিপরীতমুখী সমধর্মী চলতরঙ্গের উপরিপাতে সৃষ্ট স্থাণুতরঙ্গ মাধ্যমের একটি অংশে আবদ্ধ হয়।

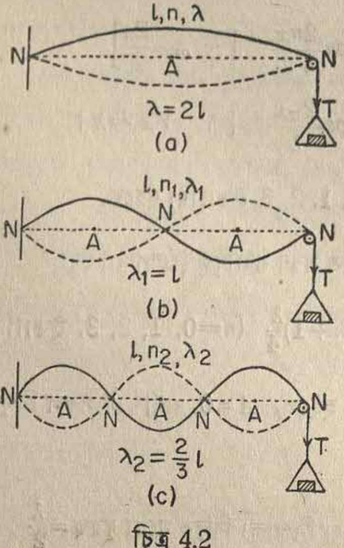
(2) চলতরঙ্গে প্রতিটি কণার বিস্তার, বেগ, শক্তি, ইত্যাদি একই ধরণের পরিবর্তন চক্রের মধ্য দিয়া আবর্তিত হয়, কিন্তু স্থাণুতরঙ্গে এইরূপ ঘটে না। এখানে দুইটি পরপর নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে কণাগুলির দশা একই, কিন্তু বিস্তার বিভিন্ন। প্রত্যেক নিস্পন্দ বিন্দুতে দশা π পরিমাণ পরিবর্তিত হয়, অর্থাৎ একটি নিস্পন্দ বিন্দুর দুইপাশের কণাগুলির স্পন্দন বিপরীতমুখে হইয়া থাকে।

(3) চলতরঙ্গে একটি পূর্ণ কম্পনের ভিতর মাধ্যমের সমস্ত কণার স্পন্দন-রহিত হইবে এইরূপ কখনও হয় না। কিন্তু স্থাণুতরঙ্গের মধ্যে একটি পূর্ণ কম্পনে দুইবার মাধ্যমের সকল কণা স্থির অবস্থানে থাকে।

আবদ্ধ তারের তির্যক কম্পন ও নলে বায়ুস্তম্ভের অনুদৈর্ঘ্য কম্পন স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি করে। নিম্নে ইহাদের সম্বন্ধে আলোচনা করা হইল।

4.5. তারের তির্যক কম্পন (Transverse vibration of strings) :

টান-টান করিয়া দুইপ্রান্তে বাঁধা কোন সুষম ও নমনীয় তারকে দৈর্ঘ্যের আড়াআড়ি একটু টানিয়া ছাড়িয়া দিলে কিংবা সামান্য আঘাত করিলে তারে তির্যক কম্পনের সৃষ্টি হয়। ইহাতে একটি তির্যক তরঙ্গ তার-বরাবর অগ্রসর হয় এবং আবদ্ধ প্রান্তে প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় তার-বরাবর ফিরিয়া আসে। এই-রূপ দুইটি বিপরীতমুখী অথচ সমধর্মী চল-তরঙ্গের উপরি-পাতে স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি হয় এবং তারটি স্থায়িভাবে কাঁপিতে থাকে।



চিত্র 4.2

তারটিকে T বল দ্বারা টান-টান করিয়া রাখিলে যদি তারের একক

দৈর্ঘ্যের ভর m হয় তবে পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে, তার-বরাবর প্রবাহিত তির্যক তরঙ্গের গতিবেগ,

$$V=\sqrt{\frac{T}{m}}$$

এখন তারের কম্পাঙ্ক n এবং তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ হইলে,

$$V=n\lambda=\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$\therefore \quad n=\frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}}\cdots(1)$$

তারের দুইপ্রান্ত আবদ্ধ থাকায় প্রান্ত বিন্দুদ্বয় সর্বদা নিস্পন্দ বিন্দু হইবে। এখন, l দৈর্ঘ্যের কোন তারের কম্পন যদি এমন হয় যে, তারের মধ্যস্থলে একটিমাত্র সুস্পন্দ বিন্দু থাকে, অর্থাৎ তারটি যদি কেবলমাত্র একটি বৃত্তাংশে (segment) কম্পন করে (চিত্র 4.2a) তবে, $l=\frac{\lambda}{2}$, অথবা $\lambda=2l$

$\therefore$ তারের কম্পাঙ্ক, $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}\cdots(2)$ [(1) সমীকরণ হইতে]

এইরূপ কম্পনে যে স্বর নির্গত হয়, তাহাকে **মূলস্বর** (fundamental tone) বলে।

আবার, তারটি যদি এমনভাবে কাঁপান হয় যাহাতে দুইটি বদ্ধপ্রান্ত ছাড়াও তারের মধ্যস্থলে একটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকে (চিত্র 4.2*b*), তবে এইক্ষেত্রে সৃষ্ট তরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ_1 হইলে, $\lambda_1=l$ এবং স্বরের কম্পাঙ্ক, $n_1=\frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}=2n\cdots(3)$ অর্থাৎ এখনকার স্বরের কম্পাঙ্ক মূলস্বরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ। এই স্বরকে **প্রথম উপস্বর** (first overtone) বলা হয়।

যদি তারটিকে তিনটি বৃত্তাংশে কাঁপান হয় তবে তার বরাবর তিনটি সুস্পন্দ এবং চারটি নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যাইবে (চিত্র 4.2*c*) এবং এইক্ষেত্রে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_2 হইলে, $\lambda_2=\frac{2}{3}l$ এবং (1) সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$n_2=\frac{3}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}=3n\cdots(4)$ এখানে n_2 = নির্গত স্বরের কম্পাঙ্ক।

এইরূপ স্বরকে **দ্বিতীয় উপস্বর** (second overtone) বলে। দেখা যাইতেছে, দ্বিতীয় উপস্বরের কম্পাঙ্ক, মূল স্বরের কম্পাঙ্কের তিনগুণ।

প্রকৃতপক্ষে, কোন বাদ্যযন্ত্রের তারের কম্পন হইতে যে স্বর নির্গত হয় তাহা অনেকগুলি সুরের সমন্বয়। কোন স্বরের মধ্যে যে সুরের কম্পাঙ্ক সবচেয়ে কম তাহাকে মূলসুর বলে এবং বাকী সুরগুলিকে উপসুর বলা হয়। উপসুরগুলির কম্পাঙ্ক যদি মূলসুরের কম্পাঙ্কের সরল গুণিতক হয় (1, 2, 3, 4 ইত্যাদি গুণ) তবে উহাদের **সমমেল** (harmonies) বলে। দেখা যাইতেছে, তারের তির্যক কম্পনে সৃষ্ট সুরগুলি সমমেল। উপসুরগুলির আবার বিভিন্ন নাম আছে, যেমন কোন উপসুরের কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ হইলে তাহাকে **অষ্টক** (octave) বলা হয়।

(2, (3), (4) সমীকরণগুলি বিচার করিয়া সাধারণভাবে বলা যায়, যদি l দৈর্ঘ্যের কোন তার S-টি বৃত্তাংশে তির্যকভাবে কম্পন করে তবে, কম্পাঙ্ক=

$$\frac{S}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \cdots\cdots (5) \quad [\text{(1) সমীকরণ হইতে}]$$

4.6. তারের তির্যক কম্পনের সূত্রাবলী (Laws of transverse vibration of strings) :

বিজ্ঞানী **মার্শিনী** (Mersenne) 1638 খ্রীস্টাব্দে পরীক্ষামূলকভাবে তারের তির্যক কম্পনের সূত্রাবলী বাহির করেন। $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ সূত্র হইতে আমরা সূত্রগুলি পাইতে পারি।

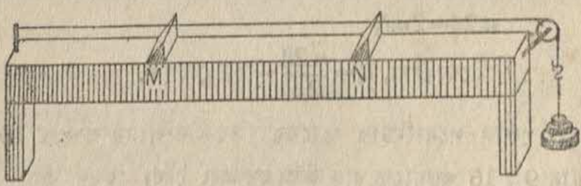
(i) **দৈর্ঘ্যের সূত্র** (Law of length) : তির্যক কম্পনের ক্ষেত্রে কোন তারের টান (T) এবং একক দৈর্ঘ্যে ভর (m) নির্দিষ্ট থাকিলে, তারের কম্পাঙ্ক (n) উহার দৈর্ঘ্যের (l) ব্যাস্তানুপাতিক, অর্থাৎ $n \propto \frac{1}{l}$ যখন T এবং m অপরিবর্তিত থাকে।

(ii) **টানের সূত্র** (Law of tension) : তির্যক কম্পনের ক্ষেত্রে কোন তারের দৈর্ঘ্য (l) এবং একক দৈর্ঘ্যে ভর (m) নির্দিষ্ট থাকিলে, তারের কম্পাঙ্ক (n) উহার টানের (T) বর্গমূলের সহিত সমানুপাতিক, অর্থাৎ $n \propto \sqrt{T}$, যখন l এবং m অপরিবর্তিত থাকে।

(iii) **ভরের সূত্র** (Law of mass) : তির্যক কম্পনের ক্ষেত্রে কোন তারের দৈর্ঘ্য (l) এবং টান (T) নির্দিষ্ট থাকিলে, তারের কম্পাঙ্ক (n) উহার প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ভরের বর্গমূলের ব্যাস্তানুপাতিক, অর্থাৎ, $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$, যখন l এবং T অপরিবর্তিত থাকে।

4.7. তারের তির্যক কম্পনের প্রয়োগ (Applications of transverse vibration of strings) :

সেতার, গীটার, পিয়ানো ইত্যাদি বাদ্যযন্ত্রের তারে তির্যক কম্পনের সাহায্যে বিভিন্ন প্রকার শ্রুতিমধুর শব্দ উৎপন্ন করা হয়। পরীক্ষাগারে তারের তির্যক কম্পনের সাহায্যে কোন স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক বাহির করা যায়। এই উদ্দেশ্যে সনোমিটার (Sonometer) নামে একটি যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। এই যন্ত্রে একটি আয়তাকার ফাঁপা বাক্সের উপর একটি তারের একপ্রান্ত বাক্সের একটি ধারে দৃঢ়ভাবে হুকের সহিত আটকানো থাকে (চিত্র 4.3)। তারের অন্যপ্রান্ত বাক্সের অপর ধারে একটি কপিকলের উপর দিয়া লইয়া একটি বড় ঝুলানো হুকের সহিত আবদ্ধ করা হয়। হুকের উপর ওজন চাপাইয়া তারে টান দেওয়া হয়। স্থাণুতরঙ্গ সৃষ্টি করিবার উদ্দেশ্যে তারের একটি নির্দিষ্ট অংশকে দুইটি সঞ্চরণশীল কাঠের সেতু (M এবং N) দ্বারা আবদ্ধ করা হয়। যে-কোন একটি সেতু সরাইয়া আবদ্ধ অংশের দৈর্ঘ্যের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটান হয়।



চিত্র 4.3

পরীক্ষাধীন স্বরশলাকাটিকে কাঁপাইয়া উহার হাতল সনোমিটারের বাক্সের উপর বসাইয়া তারের দৈর্ঘ্য খুব অল্প হইতে ধীরে ধীরে বাড়াইতে থাকিলে একসময় তারের কম্পাঙ্ক স্বরশলাকার কম্পাঙ্কের সহিত মিলিয়া যাইবে। স্বরশলাকার কম্পন তারে তির্যক কম্পন সৃষ্টি করে এবং উহারা যখন সমস্বর উৎপন্ন করে, তখন তারটি প্রবলবেগে কাঁপিতে থাকে। এই অবস্থা নির্ণয় করিবার জন্য এক টুকরা কাগজকে ভাঁজ করিয়া তারের মধ্যস্থলে চাপান হয়। স্বরশলাকার ও তারের কম্পাঙ্ক সমান হইলে কাগজটি সজোরে ছিটকাইয়া যাইবে।

এইরূপ অবস্থায় ঝুলানো হুকের উপর চাপান ভার M হইলে, টান $T=Mg$ এবং তারের একক দৈর্ঘ্যে ভর m হইলে,

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}},$$ $n=$ স্বরশলাকার তথা তারের কম্পাঙ্ক

এবং $l=$ সমস্বরের ক্ষেত্রে তারের আবদ্ধ অংশের দৈর্ঘ্য।

সনোমিটারের সাহায্যে তারের তির্যক কম্পনের সূত্রাবলীর সত্যতা যাচাই করা যায়। উদাহরণস্বরূপ, বিভিন্ন কম্পাঙ্কের (n_1, n_2, n_3, ইত্যাদি) কয়েকটি স্বরশলাকা লইয়া উপরের পদ্ধতি অনুযায়ী স্থির টান (Mg)-ও নির্দিষ্ট তারের ক্ষেত্রে মূলস্বর উৎপন্ন করিয়া মিল ঘটাইলে যদি আবদ্ধ অংশের দৈর্ঘ্যগুলি (l_1, l_2, l_3 ইত্যাদি) বাহির করা হয়, তবে দেখা যাইবে,

$n_1l_1=n_2l_2=n_3l_3=\cdots$একটি স্থির রাশি; অর্থাৎ দৈর্ঘ্যের সূত্রটি প্রমাণিত হয়।

উদাহরণ (1) : যদি 24 সে.মি. দীর্ঘ একটি বেহালার তারে মূলস্বর নির্গত হয় তবে পরবর্তী অষ্টক নিঃসৃত করিবার জন্য কত দৈর্ঘ্যের প্রয়োজন ?

[H.S. 1960]

উত্তর : মনে করি, মূলস্বরের কম্পাঙ্ক$=n$

$\therefore$ পরবর্তী অষ্টকের কম্পাঙ্ক$=2n$

দৈর্ঘ্যের সূত্র হইতে জানি, $n_1l_1=n_2l_2$

এখানে, $n_1=n$, $l_1=24$, $n_2=2n$

$\therefore \quad n.24=2n.l_2$

$\therefore$ নির্ণেয় দৈর্ঘ্য, $l_2=\dfrac{n.24}{2n}=\mathbf{12}$ **সে. মি.**

(2) : কোন সনোমিটার তারের তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক 150 ; যদি তারে টান 9 : 16 অনুপাতে বৃদ্ধি করা হয় এবং দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হয় তবে কম্পাঙ্ক কত হইবে ?

[H.S. 1962]

উত্তর : মনে করি, প্রথম ক্ষেত্রে তারের দৈর্ঘ্য$=l$ এবং টান$=9T$

$\therefore$ দ্বিতীয় ,, ,, ,, $=2l$ এবং টান$=16T$

$n=\dfrac{1}{2l}\sqrt{\dfrac{T}{m}}$ হইতে

প্রথম ক্ষেত্রে, $150=\dfrac{1}{2.l}\sqrt{\dfrac{9T}{m}}\cdots(1)$

এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $n=\dfrac{1}{2.2l}\sqrt{\dfrac{16T}{m}}\cdots(2)$

(1) এবং (2) হইতে, $\dfrac{n}{150}=\dfrac{2l}{2.2l}\sqrt{\dfrac{16T}{m}\times\dfrac{m}{9T}}$

অথবা, $n=150.\frac{1}{2}\sqrt{\frac{16}{9}}$

$=75\times\frac{4}{3}=100$

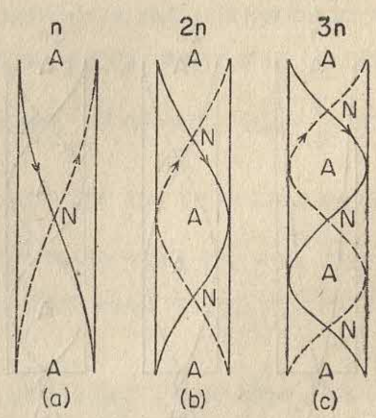
$\therefore$ নির্ণেয় কম্পাঙ্ক$=\mathbf{100}$

4.8. বায়ুস্তম্ভের কম্পন (Vibrations of air-column) :

কোন আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভে কম্পন সৃষ্টি করিলে স্থাণুতরঙ্গের উৎপত্তি হয় এবং বায়ুস্তম্ভ স্বর সৃষ্টি করে। কাচের শিশি বা বাঁশীতে ফুঁ দিয়া এই ধরনের শব্দের সৃষ্টি করা হয়। বায়ুস্তম্ভে স্বর-সৃষ্টির জন্য দুই ধরনের নল ব্যবহার করা হয়, একপ্রকার নলের দুই মুখই খোলা, তাহাকে **খোলা নল** (open pipe) এবং অপর প্রকার নলের একটি মুখ খোলা ও অপর মুখ বন্ধ থাকে, তাহাকে **বন্ধ নল** (closed pipe) বলে। নীচে এই দুই প্রকার নলে আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভের কম্পনের প্রকৃতি ও সৃষ্ট স্বরসমূহের আলোচনা করা হইল।

(A) খোলা নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পন :

খোলা নলের যে-কোন একটি মুক্তপ্রান্তে ফুঁ দিলে কিংবা কোন কম্পমান স্বরশলাকা ধরিলে নলের বায়ুস্তর আন্দোলিত হয় এবং একটি অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ প্রবাহিত হয়। অপরপ্রান্তে এই তরঙ্গ হঠাৎ খোলা জায়গা পাইয়া সম্প্রসারিত হয়। ইহাতে তরঙ্গের এক অংশ মুক্ত বায়ুতে সম্প্রসারিত হয় এবং এক অংশ ঐ প্রান্তে প্রতিফলিত হইয়া নলের মধ্যে মূল তরঙ্গের বিপরীতে প্রবাহিত হয়। ইহাতে নলে স্থাণুতরঙ্গের উৎপত্তি হয়। নলের দুইটি মুখই খোলা বলিয়া খোলা মুখ দুইটিতে স্পন্দনের সুবিধা হয়, এই কারণে সেখানে সর্বদা সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হয়। সর্বনিম্ন কম্পাঙ্কের স্বরসৃষ্টির ক্ষেত্রে ঐ দুই সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে একটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকে (চিত্র 4.4a)। ইহাকে মূলস্বর বলে। এইক্ষেত্রে নলের দৈর্ঘ্য l এবং তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ হইলে, আমরা জানি, পরপর দুইটি সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব $\frac{\lambda}{2}$, সুতরাং $\lambda=2l$. তরঙ্গের বেগ V হইলে, মূলস্বরের কম্পাঙ্ক $n=\frac{V}{\lambda}=\frac{V}{2l}\cdots(1)$



চিত্র 4.4

তারের মত নলেও বিভিন্ন উপস্বর সৃষ্টি করা সম্ভব। নলের মুখে আরও জোরে ফুঁ দিলে স্থাণুতরঙ্গ যদি এমনভাবে সৃষ্ট হয় যাহাতে নলের দুই খোলা

মুখ ছাড়াও মধ্যস্থলে একটি সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হয়, তবে প্রথম সমমেল উৎপন্ন হইবে (চিত্র 4.4*b*)। এইক্ষেত্রে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ_1 হইলে, $\lambda_1 = l$

$\therefore$ উৎপন্ন প্রথম সমমেলের কম্পাঙ্ক, $n_1 = \dfrac{V}{\lambda_1} = \dfrac{V}{l} = 2n \cdots (2)$

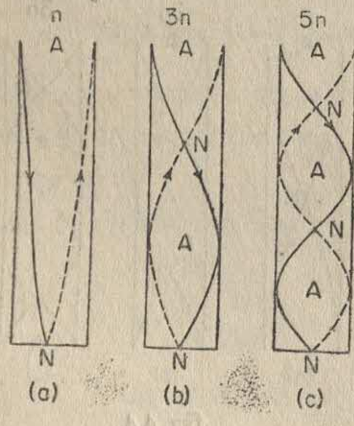
অর্থাৎ, প্রথম সমমেলের কম্পাঙ্ক মূলস্বরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ।

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় সমমেলের ক্ষেত্রে (চিত্র 4.4*c*), $\lambda_2 = \dfrac{2l}{3}$ এবং দ্বিতীয় সমমেলের কম্পাঙ্ক, $n_2 = \dfrac{V}{\lambda_2} = \dfrac{3V}{2l} = 3n \cdots (3)$

অর্থাৎ, দ্বিতীয় সমমেলের কম্পাঙ্ক মূলস্বরের কম্পাঙ্কের তিনগুণ। এইভাবে অন্যান্য উচ্চতর সমমেলের উৎপত্তি করিলে দেখা যাইবে, খোলা নলে মূলস্বরের যুগ্ম ও অযুগ্ম সকল প্রকার গুণিতকযুক্ত উপস্বর সৃষ্টি করা সম্ভব।

(*B*) বদ্ধ নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পন :

একমুখ-বদ্ধ নলের বায়ুস্তরে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ প্রবাহিত হইলে বদ্ধ মুখে বায়ুস্তর স্পন্দন করিতে পারে না, ফলে সেখানে সর্বদাই নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয় এবং খোলা মুখে প্রসারণের সুবিধা থাকায় সেখানে সর্বদা সুস্পন্দ বিন্দু থাকে। মূলস্বরের উৎপত্তির সময় খোলা মুখে একটি সুস্পন্দ বিন্দু এবং বদ্ধ মুখে একটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকে—ইহাই সর্বাপেক্ষা সহজতম স্থাণু-তরঙ্গ (চিত্র 4.5*a*)। পূর্বের মতোই মূলস্বরের কম্পাঙ্ক n এবং নলের দৈর্ঘ্য l ও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ ধরিলে,



চিত্র 4.5

$$l = \frac{\lambda}{4} \text{ বা, } \lambda = 4l$$

$$\text{এবং } n = \frac{V}{\lambda} = \frac{V}{4l} \cdots (1),\ V = \text{তরঙ্গের বেগ।}$$

নলের মুখে আরও জোরে ফুঁ দিলে স্থাণুতরঙ্গ যদি এমনভাবে সৃষ্ট হয় যাহাতে নলের বন্ধমুখ ছাড়াও নলের মধ্যে অতিরিক্ত একটি নিস্পন্দ বিন্দু

উৎপন্ন হয় (চিত্র 4.5*b*) তবে প্রথম সমমেল উৎপন্ন হয়। এইক্ষেত্রে, তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ_1 হইলে, $l=\frac{3\lambda_1}{4}$

অথবা, $\lambda_1=\frac{4}{3}l$ এবং প্রথম সমমেলের কম্পাঙ্ক

$n_1=\frac{V}{\lambda_1}=\frac{V}{\frac{4}{3}l}=3n\cdots(2)$, অর্থাৎ প্রথম সমমেলের কম্পাঙ্ক মূলস্বরের কম্পাঙ্কের তিনগুণ।

দ্বিতীয় সমমেলের ক্ষেত্রে আর একটি অতিরিক্ত নিস্পন্দ বিন্দু গঠিত হয়। এইক্ষেত্রে, $l=\frac{5}{4}\lambda_2$, অথবা, $\lambda_2=\frac{4}{5}l$

$$\therefore \text{ দ্বিতীয় সমমেলের কম্পাঙ্ক } n_2=\frac{V}{\lambda_2}=\frac{V}{\frac{4}{5}l}=5n\cdots\cdots(3)$$

দেখা যাইতেছে, দ্বিতীয় সমমেলের কম্পাঙ্ক মূল স্বরের কম্পাঙ্কের পাঁচগুণ। এইভাবে, বদ্ধনলে বিভিন্ন উপস্বরগুলির কম্পাঙ্ক মূলস্বরের কম্পাঙ্কের তিনগুণ, পাঁচগুণ, সাতগুণ, নয়গুণ ইত্যাদি পাওয়া যাইবে। সুতরাং বদ্ধনলে কেবলমাত্র মূলস্বরের অযুগ্ম সমমেলগুলি গঠিত হয়।

একটি বিষয় এখানে লক্ষণীয় যে, একই দৈর্ঘ্যের একটি খোলানল ও বদ্ধনলের মূলস্বরগুলির কম্পাঙ্ক এক নহে। বদ্ধনলের মূলস্বরের কম্পাঙ্ককে n_{cp} ও খোলা-নলে মূলস্বরের কম্পাঙ্ককে n_{0p} ধরিলে, আমরা জানি, $n_{cp}=\frac{V}{4l}$ এবং $n_{0p}=\frac{V}{2l}=n_{cp}=\frac{1}{2}n_{0p}$, অর্থাৎ খোলা নলে যখন মূলস্বর নির্গত হয় তখন হঠাৎ একটি মুখ হাত দিয়া চাপিয়া ধরিলে কম্পাঙ্ক অর্ধেক হইয়া যায়। উপরন্তু, খোলা নলের মূলস্বরের কম্পাঙ্ক বেশী বলিয়া বদ্ধনল অপেক্ষা আওয়াজ চড়া হয়।

উদাহরণ (3) **:** বায়ুতে শব্দের বেগ 1100 ফুট/সেকেণ্ড হইলে 4 ফুট দীর্ঘ খোলা-নলে মূলস্বরের কম্পাঙ্ক কত হইবে? [C. U. 1950]

উত্তর : এখানে $V=1100$, $l=4$

$$\therefore \text{ মূলস্বরের কম্পাঙ্ক } n \text{ হইলে, } n=\frac{V}{2l}=\frac{1100}{2.4}=\mathbf{137{\cdot}5}$$

(4) **:** একটি বদ্ধ ও একটি খোলা নলের মূলস্বরের কম্পাঙ্কদ্বয়ের অন্তরফল 25. খোলা নলের দৈর্ঘ্য 96 সে.মি. হইলে বদ্ধনলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। শব্দের বায়ুতে বেগ 330 মিটার/সেকেণ্ড।

উত্তর : খোলা নলে মূলস্বরের কম্পাঙ্ক n_1 এবং বদ্ধ-নলে n_2 হইলে, $n_1 - n_2 = \pm 25$

খোলা নলের দৈর্ঘ্য 96 সে.মি., সুতরাং $n_1 = \frac{33000}{2\times 96} = \frac{1375}{8}$

$\therefore$ হয় $n_2 = \frac{1375}{8} + 25 = \frac{1575}{8}$, নতুবা $\frac{1375}{8} - 25 = \frac{1175}{8}$

বদ্ধনলের দৈর্ঘ্য l_2 ধরিলে, $l_2 = \frac{33000}{4\times n_2}$

$n_2 = \frac{1575}{8}$ ধরিলে, $l_2 = \frac{33000}{4\times \frac{1575}{8}} = 41{\cdot}9$ সে.মি.

এবং $n_2 = \frac{1175}{8}$ ধরিলে, $l_2 = \frac{33000}{4\times \frac{1175}{8}} = 56{\cdot}2$ সে.মি.

$\therefore$ **বদ্ধনলের দৈর্ঘ্য 41·9 সে.মি. অথবা 56·2 সে.মি.**

4.9 অর্গ্যান নল (Organ pipe) :

অর্গ্যান নল দুইমুখ-খোলা নলের ন্যায় ক্রিয়া করে। এই যন্ত্রে একটি গোলাকার বা আয়তাকার বায়ু-নল থাকে (চিত্র 4.6)। নলের মুখে বায়ু চালনা করিলে উহা M অংশে বাধা পাইয়া N পথে নির্গত হয় এবং একটি ধারালো পাত P-কে পর্যায়ক্রমে দুই প্রান্তে আঘাত করিয়া স্বর সৃষ্টি করে। একক সময়ে এই আঘাতের সংখ্যা নলের স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের সমান হইলে অনুনাদ সৃষ্টি হয়। বায়ুপ্রবাহের বেগ এবং P-এর অবস্থানের উপর সৃষ্ট স্বরের কম্পাঙ্ক নির্ভরশীল। বাঁশী, ক্ল্যারিওনেট ইত্যাদি যন্ত্রে এই নীতিতে স্বরসৃষ্টি করা হয়। নলের কার্যকরী দৈর্ঘ্য নলের উপর ছিদ্রগুলির বদ্ধ বা খোলা রাখিবার উপর নির্ভর করে। যখন যে ছিদ্রটি খোলা হয়, সেখানে তখন একটি সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হয়, ফলে স্বরের কম্পাঙ্ক তদনুযায়ী হইয়া থাকে।



চিত্র 4.6

প্রশ্নাবলী

1. তরঙ্গের উপরিপাতের নীতি কি? স্থাণুতরঙ্গ কিভাবে গঠিত হয় ব্যাখ্যা কর। চল-তরঙ্গ ও স্থাণুতরঙ্গের পার্থক্য কি?

[What is the principle of superposition of waves? Explain how stationary waves are formed. What are

the differences between progressive waves and stationary waves ?]

2. তারের তির্যক কম্পন বলিতে কি বোঝ ? তির্যক কম্পনের নিয়মগুলি বল।

[What do you understand by transverse vibration of a string ? State the laws of transverse vibrations.]

3. সনোমিটারের সাহায্যে কোন স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক বাহির করিবার পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[Describe the method of determining the frequency of a tuning fork with the help of a sonometer.]

4. বদ্ধনলে বায়ুস্তম্ভের কম্পনের প্রকৃতি আলোচনা কর এবং মূলস্বর ও সমমেলগুলির কম্পাঙ্কের সম্পর্ক বল।

[Discuss the different modes of vibration of air column in a closed pipe and find the relation between the fundamental and the higher harmonic frequencies.]

5. দেখাও যে, একটি খোলা নল যুগ্ম অযুগ্ম সকল সমমেল উৎপন্ন করিতে পারে। খোলা নলের এক মুখ হঠাৎ হাত দিয়া বন্ধ করিয়া দিলে কি হইবে ?

[Show that an open pipe can emit both odd and even harmonics. What will happen if one mouth of an open pipe is suddenly closed by hand ?]

6. 80 সে.মি. দীর্ঘ কোন সনোমিটার তারে 4 কিলোগ্রাম ভার চাপান আছে এবং ইহা কোন স্বরশলাকার সহিত সমস্বরযুক্ত। ভার 100 গ্রাম বাড়াইলে এবং তারের দৈর্ঘ্য কি পরিমাণ পরিবর্তন করিলে স্বরশলাকার সহিত অনুনাদ ঘটিবে ? [C. U. 1951]

[With a tension of 4 kg. a sonometer wire vibrates in unison with a standard tuning fork, the length of the wire being 80 cms. A further weight of 100 gms. is added to the tension. By how much should the length of the wire be altered to obtain again resonance with the fork ?]

[Ans. Length to be increased by 0·98 cm]

7. একটি সনোমিটার তারের কম্পাঙ্ক 80. উহার টান 1 : 9 অনুপাতে এবং দৈর্ঘ্য 1 : 2 অনুপাতে বৃদ্ধি করিলে কম্পাঙ্ক কত হইবে ?

[A sonometer wire has a frequency of 80. If the tension is increased in the ratio 1 : 9 and length 1 : 2, find the changed frequency.] [Ans. 120]

8. দুইটি 4 ফুট দীর্ঘ খোলা ও বদ্ধনলের মুখে শব্দ করিলে উৎপন্ন মূলস্বরগুলির কম্পাঙ্ক বাহির কর। বাতাসে শব্দের বেগ 1120 ফুট/সেকেণ্ড।

[Find the frequencies of the fundamentals emitted from each of two 4 feet long pipes, one closed at one end and the other open at both ends. Velocity of sound in air was 1120′/sec.] [Ans. 140, 70]

9. একটি কম্পমান স্বরশলাকাকে বদ্ধনলের খোলা মুখের সম্মুখে ধরিয়া দেখা গেল যে, বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য 16 সে.মি. এবং 49 সে.মি. হইলে দুইবার অনুনাদ হয়। স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক 512 হইলে বায়ুতে শব্দের বেগ কত ?

[A vibrating tuning fork when held over the open end of a closed pipe produces resonance with an air-column of lengths 16 cm. and 49 cm. If the frequency of the tuning fork is 512, find the velocity of sound in air.]

[Ans. 338 m/sec]

10. 99 সে.মি. দীর্ঘ একটি একমুখ বদ্ধ অর্গান নলে প্রথম উপস্বর তথা প্রথম সমমেলের কম্পাঙ্ক বাহির কর। বাতাসে শব্দের বেগ 300 মিটার/সেকেণ্ড।

[J. Entrance 1972]

[An organ pipe closed at one end is 99 cm. long. Calculate the frequency of its overtone i.e., the harmonic just above the fundamental. Given, velocity of sound in air = 330 metres/sec] [Ans. 250]

11. 20 সে.মি. দীর্ঘ একটি সনোমিটার তারের লঘিষ্ঠ কম্পাঙ্ক বাহির কর। প্রতি মিটার তারের ভর 0·93 গ্রাম এবং তারের মুক্তপ্রান্তে 1 কিলোগ্রাম ওজন চাপান আছে। [J. Entrance 1971]

[Find the lowest frequency of vibration of a sonometer wire of length 20 cms. between the brigde of the sonometer, the string has a mass of 0·98 gm. per metre and carries a load of one kilogram weight at its free end.] [Ans. 250]

11. 36 সে.মি. দীর্ঘ কোন তারের কম্পন 256 কম্পাঙ্কবিশিষ্ট একটি স্বরশলাকার কম্পনের সহিত সমস্বরযুক্ত। 40 সে.মি. দীর্ঘ একই তারের কম্পন অন্য একটি স্বরশলাকার সহিত সমস্বরযুক্ত হইলে দ্বিতীয় স্বরশলাকাটির কম্পাঙ্ক কত ? [J. Entrance 1970]

[The frequency of a string 36 cm. long is in unison with a fork of frequency 256. The frequency of 40 cm. long of the same wire is in unison with another fork. What is the frequency of the second fork ?] [Ans. 230 approx]

পঞ্চম অধ্যায়

তরঙ্গের ব্যতিচার, সমবর্তন, স্বরকম্প ও ডপলার ক্রিয়া
(Interference and Polarisation of waves, Beats and Doppler's effect)

5.1. তরঙ্গের ব্যতিচার (Interference of waves) : একটি তরঙ্গ অপর একটি তরঙ্গের উপর পড়িলে আমরা উহাকে তরঙ্গের উপরিপাত বলি। উপরিপাতের ক্ষেত্রে তরঙ্গ দুইটির কম্পাঙ্ক ও বিস্তার যদি সমান হয় এবং একটি তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষ অপর তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষের উপরে পড়ে অথবা একটি তরঙ্গের তরঙ্গপাদ অপর তরঙ্গের তরঙ্গপাদের উপর পড়ে তখন লব্ধ তরঙ্গের বিস্তার দ্বিগুণ হইয়া যায়। পক্ষান্তরে, উহারা যদি বিপরীত দশায় মিলিত হয় তবে সেখানে উভয়ের ক্রিয়া সর্বদা বিপরীতমুখী হইবে, ফলে লব্ধ তরঙ্গের বিস্তার শূন্য হইয়া যাইবে। এই ঘটনাকে **তরঙ্গের ব্যতিচার** বলে।

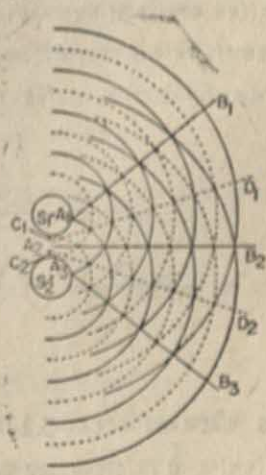
শব্দতরঙ্গের ব্যতিচারের ক্ষেত্রে প্রথম ঘটনায় শব্দের অনুভূতি তীব্রতর এবং দ্বিতীয় ঘটনায় নীরবতার সৃষ্টি হয়।

ব্যতিচারের জন্য অবশ্য পালনীয় শর্তগুলি হইল :

(i) তরঙ্গ দুইটি অভিন্ন প্রকৃতির হইবে, অর্থাৎ উহাদের কম্পাঙ্ক, বিস্তার সমান হইবে।

(ii) তরঙ্গদ্বয় মাধ্যমের কোন বিন্দুকে একই রেখায় বিচলিত করিবে।

(iii) উভয় তরঙ্গ সকল সময়েই উক্ত বিন্দুতে সমদশায় কিংবা বিপরীত দশায় পৌছিবে।

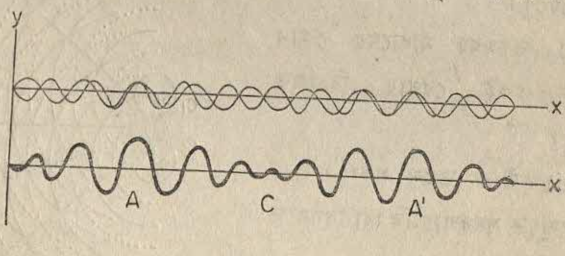


চিত্র 5.1

5.1 চিত্রে তরঙ্গের ব্যতিচার দেখান হইয়াছে। S_1 এবং S_2 দুইটি তরঙ্গের মূল উৎস। S_1 এবং S_2 হইতে নির্গত তরঙ্গদ্বয় একই বিস্তার ও কম্পাঙ্কযুক্ত। বৃত্তাকার কাটা রেখাগুলি তরঙ্গের পাদ ও অবিচ্ছিন্ন বৃত্তাকার

রেখাগুলি তরঙ্গশীর্ষের স্থান নির্দেশ করিতেছে। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, A_1B_1, A_2B_2 বা A_3B_3 রেখার উপর যে কোন বিন্দুতে হয় উভয় তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষ নতুবা তরঙ্গপাদ পরস্পর মিলিত হইয়াছে। সুতরাং ঐ রেখাগুলিতে লব্ধ-তরঙ্গের বিস্তার সর্বাধিক হইবে। পক্ষান্তরে, C_1D_1 বা C_2D_2 রেখার যে কোন বিন্দুতে একটি তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষ ও অপর তরঙ্গের তরঙ্গপাদ মিলিত হইয়াছে। ফলে, সেখানে লব্ধ-বিস্তার শূন্য এবং ঐ রেখা বরাবর কণাগুলি নিশ্চল থাকিবে। সুতরাং, S_1 এবং S_2 উৎসদ্বয় হইতে নির্গত তরঙ্গদ্বয় ব্যতিচার সৃষ্টি করিয়াছে।

5.2. স্বরকম্প (Beats) : ব্যতিচারের ক্ষেত্রে তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্ক একই থাকায় কোন বিন্দুতে দশাপার্থক্য সর্বদা একই থাকে, ফলে হয় বিস্তার দ্বিগুণিত হয় নতুবা বিস্তার একেবারেই হয় না। কিন্তু যদি দুইটি তরঙ্গের কম্পাঙ্কের পার্থক্য থাকে, তবে তাহাদের মিশ্রণে কোন বিন্দুতে দশাপার্থক্য সর্বদা একই থাকে না, সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত হয়। ইহাতে একসময়ে কোন বিন্দুতে একটি তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষ অপর তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষের সহিত বা একটির তরঙ্গপাদ অপরটির তরঙ্গপাদের সহিত মিলিত হইলে বিস্তার সর্বাধিক হয়। কিন্তু ক্ষণকাল পরেই একটি তরঙ্গ অপর তরঙ্গ অপেক্ষা আগাইয়া যায়, কারণ উহাদের কম্পনকাল সমান নয়। ফলে একসময় একটির তরঙ্গশীর্ষ ও অপরটির তরঙ্গপাদ মিলিত হইয়া ঐ বিন্দুতে নিশ্চলতা সৃষ্টি করিবে। উহাদের কম্পাঙ্কের পার্থক্য নির্দিষ্ট বলিয়া, নির্দিষ্ট সময় পরপর কোন বিন্দুতে এই ঘটনার পুনরা-



চিত্র 5.2

বৃত্তি ঘটিতে থাকিবে। 5.2 চিত্রে বিভিন্ন কম্পাঙ্কের দুইটি শব্দতরঙ্গের উপরিপাত ও তাহাদের লব্ধ-তরঙ্গটি (নীচে মোটা রেখার লেখটি) দেখান হইয়াছে। এইরূপ দুইটি শব্দতরঙ্গের ক্ষেত্রে A এবং A' বিন্দুদ্বয়ে লব্ধ-তরঙ্গের বিস্তার সর্বাধিক দেখা যাইতেছে—অর্থাৎ সেখানে শব্দ তীব্রতর হইবে এবং C বিন্দুতে লব্ধ-স্বরণ প্রায় শূন্য বলিয়া নীরবতার সৃষ্টি হইবে। দেখা যায় একই

তীব্রতার (সমান বিস্তারের) দুইটি শব্দতরঙ্গের মধ্যে কম্পাঙ্কের সামান্য পার্থক্য থাকিলে উহাদের মিশ্রণে শব্দ কোন স্থানে পর্যায়ক্রমে একবার বৃদ্ধি পায় ও একবার হ্রাস পায় (waxing and waning)। এই ঘটনাকে **স্বরকম্প** বলা হয়। শব্দের প্রবলতার হ্রাস-বৃদ্ধি একটি নির্দিষ্ট হারে ঘটিয়া থাকে। প্রতি সেকেণ্ডে যতবার প্রবল বা ক্ষীণ শব্দ শোনা যায়, সেই সংখ্যাকে **স্বরকম্পাঙ্ক** (Beat frequency) বলে। দেখা গিয়াছে, **উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য স্বরকম্পাঙ্কের সমান হয়।** গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে ইহা প্রমাণ করা যাইতে পারে।

মনে কর, স্বরকম্প উৎপন্ন করিতেছে এমন দুইটি সরল দোলতরঙ্গের সমীকরণদ্বয় নিম্নরূপ :

$y_1 = a\ sin\ 2\pi n_1 t$ এবং $y_2 = b\ sin\ 2\pi(n_1+n)t$

এখানে, উভয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য n.

লব্ধ তরঙ্গের সরণ Y ধরিলে, $Y = y_1 + y_2$

$= a\ sin\ 2\pi n_1 t + b\ sin\ 2\pi\ (n_1+n)t$

$= a\ sin\ 2\pi n_1 t + b\ sin\ 2\pi n_1 t\ cos\ 2\pi nt + b\ cos\ 2\pi n_1 t\ sin\ 2\pi nt$

$= sin\ 2\pi n_1 t(a + b\ cos\ 2\pi nt) + b\ cos 2\pi n_1 t\ sin\ 2\pi nt$ (1)

লব্ধ তরঙ্গের সমীকরণ $Y = A\ sin\ (2\pi n_1 t + \alpha)$ ধরিলে,

$Y = A\ sin\ 2\pi n_1 t\ cos\ \alpha + A\ cos\ 2\pi n_1 t\ sin \alpha$ (2)

এখানে, A = লব্ধতরঙ্গের বিস্তার এবং α = ইপক্।

এখন (1) এবং (2) সমীকরণ দুইটি তুলনা করিয়া A এবং α-র মান বাহির করা যায়।

$\therefore$ (1) এবং (2) হইতে $sin\ 2\pi n_1 t$ এবং $cos\ 2\pi n_1 t$-এর সহগগুলি সংগ্রহ করিয়া লিখিতে পারি,

$$A\ cos\ \alpha = a + b\ cos\ 2\pi nt \quad (3)$$

এবং $A\ sin\ \alpha = b\ sin\ 2\pi nt$ (4)

$$\therefore A^2\ cos^2\alpha = a^2 + b^2\ cos^2\ 2\pi nt + 2ab\ cos\ 2\pi nt \quad (5)$$

এবং $A^2\ sin^2\ \alpha = b^2\ sin^2\ 2\pi nt$ (6)

(5) এবং (6)-এর একই পক্ষগুলি যোগ করিয়া,

$$A^2 = a^2 + b^2 + 2ab\ cos\ 2\pi nt \quad (7)$$

এবং (3) ও (4) হইতে, $tan\ \alpha = \frac{b\ sin\ 2\pi nt}{a + b\ cos\ 2\pi nt}$ (8)

(7) নং সমীকরণ হইতে দেখা যায়, লব্ধ তরঙ্গের বিস্তার (A) সময়ের (t) সহিত পরিবর্তন করে। এই বিস্তারের চরম ও অবম মানগুলি কিভাবে পাওয়া যায় দেখা যাক।

যখন, $t=0$, $cos\ 2\pi nt=1$, $A=a+b$ (চরম)

" $t=\frac{1}{2n}$, $cos\ 2\pi nt=-1$, $A=a \sim b$ (অবম)

এবং $a=b$ হইলে, $A=0$.

যখন $t=\frac{1}{n}$, $cos\ 2\pi nt=1$, $A=a+b$ (চরম)

দেখা যাইতেছে, $\frac{1}{n}$ সময়ের অবকাশে বিস্তারের দুইটি চরম এবং উহাদের মধ্যবর্তী একটি অবম মান পাওয়া যায়। একই ভাবে দেখান যায় যে ঐ সময়ের অবকাশে বিস্তারের দুইটি অবম মান এবং উহাদের মধ্যবর্তী একটি চরম মান পাওয়া যাইবে।

দুইটি পরপর চরম বিস্তার কিংবা দুইটি পরপর অবম বিস্তারের অন্তবর্তী অবকাশ একটি স্বরকম্পের সময় এবং ইহা $\frac{1}{n}$ সেকেণ্ডের সমান।

$\therefore$ 1 সেকেণ্ডে nটি স্বরকম্প উৎপন্ন হইবে।

স্বরকম্পের উপলব্ধির জন্য n-এর মান কম হওয়া প্রয়োজন। কারণ, n এর মান 10-এর বেশী হইলে প্রতি সেকেণ্ডে 10-টির বেশী স্বরকম্প উৎপন্ন হইবে ; কিন্তু শব্দনির্বন্ধের জন্য আমরা উহাদের আলাদা করিয়া চিনিতে পারিব না।

এই কারণে, পরীক্ষাগারে স্বরকম্প সৃষ্টির জন্য একই কম্পাঙ্কের দুইটি স্বরশলাকা লইয়া উহাদের একটির গায়ে সামান্য মোম লাগান হয়। ইহাতে মোমলাগানো শলাকাটির কম্পাঙ্ক তিন-চারের মত কমিয়া যায়। মোম-লাগানোর পরিবর্তে শলাকাটি সামান্য একটু ঘষিয়া দিলে কম্পাঙ্ক সামান্য বৃদ্ধি পাইবে। তবে, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে পরিবর্তিত কম্পাঙ্ক স্থায়ী হয় বলিয়া উহা অবলম্বন না করাই ভাল।

স্বরকম্পের প্রয়োগ (Application of beats) **:** একাধিক বাদ্য যন্ত্র সামান্য কম্পাঙ্কের পার্থক্যে বাজিতে থাকিলে স্বরকম্পের উপস্থিতি দ্বারা তাহা ধরা পড়ে। তখন প্রয়োজনমত ইহাদের টিউনিং করা হয়।

পরীক্ষাগারে কোন উৎসের (যেমন একটি সুরশলাকার) কম্পাঙ্ক আমরা স্বরকম্পের সাহায্যে নির্ণয় করিতে পারি। একটি উদাহরণের সাহায্যে পদ্ধতিটি স্পষ্ট করিয়া বুঝা যাক। মনে কর, একটি সুরশলাকার অজ্ঞাত কম্পাঙ্ক x এবং ইহা জানা কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকার সহিত প্রতি সেকেণ্ডে 4-টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। জানা কম্পাঙ্কটি মনে কর 320 ; সুতরাং $x = 320 \pm 4$ হইবে, অর্থাৎ হয় ইহার মান 324, নতুবা 316. এখন কোন্ মানটি সঠিক তাহা নির্ণয় করিবার জন্য জানা সুরশলাকার গায়ে একটু মোম লাগাইয়া দেওয়া হইল। ইহাতে উহার কম্পাঙ্ক 320 হইতে কমিয়া যাইবে। এইবার স্বরকম্প উৎপন্ন করিয়া যদি দেখা যায় যে স্বরকম্পের সংখ্যা বাড়িয়া গিয়াছে (4-এর বেশী), তবে অজ্ঞাত সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নিশ্চিত 324, কারণ উভয়ের কম্পাঙ্কের ব্যবধান বাড়িয়া গিয়াছে। ধরা যাক, স্বরকম্প বাড়িয়া 6 হইয়াছে। জানা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক মোমের সাহায্যে কমানো হইয়াছে, সুতরাং অজ্ঞাত কম্পাঙ্কটি 324 হইলে তবেই উভয়ের ব্যবধান বাড়িয়া যাইতে পারে। আবার, ঐ পরীক্ষায় মোমের প্রলেপ লাগানোর পর স্বরকম্প কমিয়া যাইলে অজ্ঞাত মানটি হইত 316, কারণ, জানা কম্পাঙ্কটির মান 320 হইতে নামিয়া উভয়ের ব্যবধান কমাইয়া দিত।

উদাহরণ : (1) কোন গ্যাসে 1 মিটার এবং 1·01 মিটার তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের দুইটি শব্দতরঙ্গ 3 সেকেণ্ডে 10-টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। গ্যাসটিতে শব্দের বেগ কত ?

উত্তর : তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে n_1 এবং n_2 ধরিলে এবং গ্যাসে শব্দের বেগ V হইলে, $n_1 = \frac{V}{1}$ এবং $n_2 = \frac{V}{1{\cdot}01}$

সর্তানুসারে $n_1 - n_2 = \frac{10}{3}$

$$\therefore \quad V - \frac{V}{1{\cdot}01} = \frac{10}{3}$$

বা $V\left(1 - \frac{1}{1{\cdot}01}\right) = \frac{10}{3}$

বা $V = \frac{10}{3} \times \frac{1{\cdot}01}{{\cdot}01} = \mathbf{333{\cdot}67}$ **মিটার/সেকেণ্ড**

(2) 256 কম্পাঙ্কবিশিষ্ট একটি সুরশলাকা একটি খোলা নলের সঙ্গে সেকেণ্ডে 8-টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। সুরশলাকাটি নিম্নতর কম্পাঙ্কের। নলের দৈর্ঘ্য কিরূপ পরিবর্তিত করিলে দুইটি ধ্বনি সমসুরের হইবে ? [C. U. 1964]

উত্তর : প্রশ্নানুসারে নলের মূলসুরের কম্পাঙ্ক=256+8=264

বায়ুতে শব্দের বেগ V এবং নলের দৈর্ঘ্য l হইলে, নলের কম্পাঙ্ক,

$$264=\frac{V}{2l}\cdots(1)$$

এখন ধরা যাক, নলের দৈর্ঘ্য x পরিমাণ বৃদ্ধি করিলে কম্পাঙ্ক 256 হয়।

$$\therefore\quad 256=\frac{V}{2(l+x)}\cdots(2)$$

(1) এবং (2) হইতে, $\frac{264}{256}=\frac{V}{2l}\times\frac{2(l+x)}{V}=\frac{l+x}{l}$

বা, $\frac{l+x}{l}=1+\frac{8}{256}$

বা, $1+\frac{x}{l}=1+\frac{1}{32}$

বা, $\frac{x}{l}=\frac{1}{32},\quad\therefore\quad x=\frac{l}{32}$

$\therefore$ নলের দৈর্ঘ্য উহার $\frac{1}{32}$ অংশ বৃদ্ধি করিতে হইবে।

5.3. ডপলারের সূত্র (Doppler's Principle) :

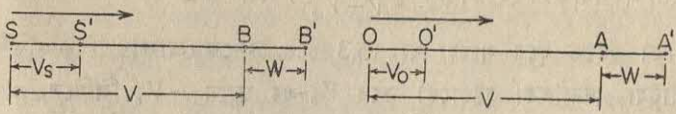
যখন কোন উৎস একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের শব্দ উৎপন্ন করে তখন শ্রোতা একই কম্পাঙ্কের শব্দ শুনিতে পায়, যদি উৎস ও শ্রোতা স্থির অবস্থানে থাকে। কিন্তু উহাদের মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকিলে শ্রোতা ভিন্ন কম্পাঙ্কের শব্দ শুনিয়া থাকে। যদি উৎস ও শ্রোতার পারস্পরিক দূরত্ব কমিতে থাকে, তবে শ্রুত কম্পাঙ্কের আপাতবৃদ্ধি এবং যদি পারস্পরিক দূরত্ব বাড়িতে থাকে, তবে শ্রুত কম্পাঙ্কের আপাতহ্রাস ঘটে। **উৎস ও শ্রোতার ভিতর আপেক্ষিক গতির জন্য শ্রুত শব্দের কম্পাঙ্ক তথা তীক্ষ্ণতার আপাত পরিবর্তনকে ডপলারের ক্রিয়া (Doppler's effect) বলে।**

প্ল্যাটফর্মে দাঁড়াইয়া কোন গতিশীল ট্রেনের হুইসিল শুনিলে এই ক্রিয়া লক্ষ্য করা যায়। শ্রোতার দিকে আগত ট্রেনের হুইসিলের কম্পাঙ্কের আপাতবৃদ্ধি এবং শ্রোতা হইতে দূরে চলিয়া যাইবার কালে কম্পাঙ্কের আপাতহ্রাস লক্ষ্য করা যায়।

ডপলারের ক্রিয়ায় আপাতকম্পাঙ্কের সহিত উৎসের প্রকৃত কম্পাঙ্কের সম্পর্ক আমরা নিম্নলিখিতভাবে বাহির করিতে পারি।

5.3a. উৎস এবং শ্রোতা উভয়েই গতিশীল :

মনে কর, কোন উৎস S হইতে সেকেণ্ডে nটি তরঙ্গ নির্গত হইতেছে



চিত্র 5.3

(চিত্র 5.3) এবং বায়ুতে শব্দের বেগ V. সুতরাং $SB=V$ দূরত্বের মধ্যে nটি তরঙ্গ থাকিবে এবং তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $\lambda=\frac{V}{n}=\frac{SB}{n}$

মনে কর, উৎসটি গতিশীল এবং এক সেকেণ্ডে উহা SB বরাবর S' অবস্থানে আসে। অর্থাৎ, উৎসটির বেগ V_s ধরিলে $V_s=SS'$. এখন উৎসটি S অবস্থানে প্রথম তরঙ্গটি ছাড়িয়া চলিতে শুরু করিলে 1 সেকেণ্ডের শেষ মুহূর্তে S' অবস্থানে n-তম তরঙ্গটি ছাড়িবে। ফলে nটি তরঙ্গ $S'B$-র মধ্যে পাশাপাশি অবস্থান করিবে, কারণ, ইতিমধ্যে প্রথম তরঙ্গটি B অবস্থানে পৌছিয়াছে। ইহার ফলস্বরূপ, তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিবর্তিত হইবে। মনে কর, এই পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ_1, সুতরাং $\lambda_1=\frac{S'B}{n}=\frac{V-V_s}{n}$ ......(1)

এইবারে, শ্রোতার ব্যাপারটি ধরা যাক। শ্রোতা O অবস্থানে স্থির থাকিলে কোন উৎস হইতে এক সেকেণ্ডে নির্গত nটি শব্দ এক সেকেণ্ডের মধ্যেই শুনিতে পাইবে। O অবস্থানে শ্রোতা সেকেণ্ডের প্রথম যে শব্দটি শোনে, তাহা এক সেকেণ্ডের শেষে A অবস্থানে পৌছায়, যেহেতু $OA=V$. শ্রোতা V_0 বেগে উৎস হইতে দূরে একই রেখায় গতিশীল হইলে (চিত্র অনুযায়ী) শেষ শব্দটি O' অবস্থানে শুনিবে, কারণ $OO'=V_0$. সুতরাং $O'A$ এর মধ্যে যে শব্দ-তরঙ্গগুলি অবস্থান করিতেছে, শ্রোতা এক সেকেণ্ডে কেবলমাত্র তাহাদেরই শুনিতে পায় এবং OO'-এর মধ্যে অবস্থিত শব্দতরঙ্গগুলি শ্রোতার নিকট ঐ সেকেণ্ডের মধ্যে পৌছিতে পারে না। ইহার ফলে, শ্রোতা এক সেকেণ্ডে n-এর কিছু কম শব্দ শোনে। শ্রোতার নিকট উৎসের আপাত কম্পাঙ্ক n' হইলে

$$n'=\frac{O'A}{\lambda'}=\frac{V-V_0}{(V-V_s)/n}=n\frac{V-V_0}{V-V_s} \quad \cdots(2) \quad [(1) \text{ সমীকরণ হইতে}]$$

আলোচ্য ক্ষেত্রে (2) নং সমীকরণ হইতে আপাত কম্পাঙ্কের (n') মান পাওয়া যায়। উৎস এবং শ্রোতার স্থিরতা, গতিশীলতা এবং গতির দিকের উপর নির্ভর করিয়া (2) নং সমীকরণের নানা রূপ হইতে পারে।

(1) **উৎস গতিশীল কিন্তু শ্রোতা স্থির :** এই ক্ষেত্রে, $V_0=0$, $\therefore$ (2) নং সমীকরণ হইতে, $n'=n\dfrac{V}{V-V_s}$, অর্থাৎ $n'>n$। এখন যদি উৎস শ্রোতা হইতে দূরে সরিয়া যায় (5.3 চিত্রে উৎসকে শ্রোতার দিকে গতিশীল দেখাইয়া গণনা করা হইয়াছে) তবে V_s-এর স্থানে $-V_s$ লিখিলে, $n'=n\dfrac{V}{V+V_s}$, অর্থাৎ $n'<n$, এই ক্ষেত্রে কম্পাঙ্কের আপাতহ্রাস দেখা যাইবে।

(2) **শ্রোতা গতিশীল কিন্তু উৎস স্থির :**

এখানে $V_s=0$, $\therefore$ (2) নং সমীকরণ অনুযায়ী $n'=n\dfrac{V-V_0}{V}$

অর্থাৎ $n'<n$. সুতরাং স্থির উৎস হইতে শ্রোতা দূরে চলিয়া গেলে কম্পাঙ্কের হ্রাস দেখা যাইবে। বিপরীতক্ষেত্রে, V_0 স্থলে $-V_0$ লিখিয়া $n'=n\dfrac{V+V_0}{V}$ অর্থাৎ $n'>n$, সুতরাং শ্রোতা উৎসের দিকে আগাইয়া আসিলে কম্পাঙ্কের আপাতবৃদ্ধি ঘটিবে

উপরিউক্ত আলোচনা হইতে বুঝা যাইতেছে, শ্রোতা ও উৎসের পারস্পরিক দূরত্ব কমিলে কম্পাঙ্কের আপাতবৃদ্ধি এবং দূরত্ব বাড়িলে আপাত-হ্রাস ঘটে।

(3) **মাধ্যমের গতিশীলতার জন্য :** ডপলারের ক্রিয়ার ক্ষেত্রে মাধ্যমের গতিশীলতা থাকিলে (2) নং সমীকরণটি নিম্নরূপে পরিবর্তিত হইবে। বায়ু মাধ্যমের ক্ষেত্রে বায়ুপ্রবাহের দিকে শব্দের গতিবেগ বৃদ্ধি পায় এবং বায়ু-প্রবাহের প্রতিকূলে হ্রাস পায়। সুতরাং (5.3 চিত্র অনুযায়ী) বায়ুপ্রবাহের অনুকূলে শব্দ প্রবাহিত হইলে V-র স্থলে $V+W$ হইবে, W=বায়ুপ্রবাহের বেগ ($=BB'$ বা AA')

সুতরাং বায়ুপ্রবাহ থাকিলে (2) নং সমীকরণ হইলে লিখিতে পারি

$$n'=n\frac{V+W-V_0}{V+W-V_s}\cdots\cdots(3)$$ বায়ুপ্রবাহ বিপরীতে ঘটিলে W-র স্থলে $-W$ লিখিতে হইবে।

ডপলারের নীতি আলোকতরঙ্গের ক্ষেত্রেও ঘটিয়া থাকে। প্রকৃতপক্ষে, ডপলার আলোকতরঙ্গের ক্ষেত্রেই ইহা প্রথম প্রতিষ্ঠা করেন। পৃথিবীর অভিমুখে বা বিপরীতমুখে যে সমস্ত নক্ষত্র প্রচণ্ড বেগে গতিশীল, তাহাদের নিঃসৃত আলোকতরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য তথা কম্পাঙ্কের আপাত পরিবর্তন ঘটে।

এই পরিবর্তন বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রে ধরা পড়ে। পৃথিবী-অভিমুখী নক্ষত্রের বর্ণালী-রেখা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আপাতহ্রাসের জন্য মূল অবস্থান হইতে বেগুনীপারের দিকে সরিয়া যায়। বিপরীতপক্ষে, কোন নক্ষত্র পৃথিবী ও নক্ষত্রের সংযোজক রেখা বরাবর পৃথিবী হইতে দূরে সরিয়া গেলে বর্ণালীরেখা লাল কিনারার দিকে সরিয়া যাইবে। মূল অবস্থান হইতে রেখাগুলির সরণ দেখিয়া নক্ষত্রের গতি-বেগ নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ : (3) একখানি ট্রেণ 256 কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট একটি হুইসিল বাজাইতে বাজাইতে ঘণ্টায় 40 মাইল বেগে একটি প্ল্যাটফরম অতিক্রম করিতেছে। প্ল্যাটফরমে দণ্ডায়মান কোন ব্যক্তির নিকট আপাত কম্পাঙ্ক কত বলিয়া মনে হইবে যখন (*a*) ট্রেনটি প্ল্যাটফরমের দিকে আসিতেছে, (*b*) ট্রেনটি প্ল্যাটফরম ত্যাগ করিয়া দূরে যাইতেছে? ঐ দুই আপাত কম্পাঙ্কের অবকাশ (interval) কত? শব্দের বেগ 1120 ফুট/সেকেণ্ড। [C. U. '45 '61]

উত্তর : এখানে শ্রোতা স্থির বলিয়া, $V_0=0$.

$$\therefore \quad n'=n\frac{V}{V-V_s}$$

$V=$ শব্দের বেগ $=1120'$/সেকেণ্ড

$V_s=$ উৎসের বেগ $=40$ মাইল/ঘণ্টা $=\frac{176}{3}$ ফুট/সেকেণ্ড

$n=$ উৎসের প্রকৃত কম্পাঙ্ক $=256$

(*a*) ট্রেনটি লোকটির দিকে আসিবার কালে আপাতকম্পাঙ্ক

$$n'=256\times\frac{1120}{1120-\frac{176}{3}}=\mathbf{270}\text{(প্রায়)}$$

(*b*) ট্রেনটি দূরে চলিবার কালে

$$n'=n\frac{V}{V+V_s}=256\times\frac{1120}{1120+\frac{176}{3}}=\mathbf{243}\text{ (প্রায়)}$$

দুইটি কম্পাঙ্কের অবকাশ বলিতে উহাদের অনুপাতকে বুঝায়। সুতরাং নির্ণেয় অবকাশ $=\frac{270}{243}=\mathbf{1{\cdot}1}$ (প্রায়)

(4) কোন শ্রোতার দিকে 100 ফুট/সেকেণ্ড বেগে ধাবমান কোন ট্রেনের বাঁশীর প্রকৃত কম্পাঙ্কের সহিত শ্রুত কম্পাঙ্কের শতকরা পরিবর্তন কত হইবে? শব্দের বায়ুতে বেগ 1100 ফুট/সেকেণ্ড। [C. U. 1957]

উত্তর : $n'=n\frac{V}{V-V_s}$ সূত্রে

$V=1100,\ V_s=100.$

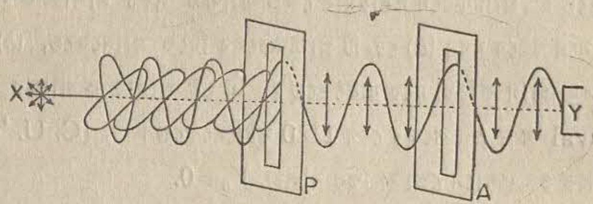
$$n' = n\frac{1100}{1100-100} = \frac{11}{10}n', \text{ অর্থাৎ } n' > n.$$

$\therefore$ কম্পাঙ্কের পরিবর্তন $= n' - n = \frac{11}{10}n - n = \frac{1}{10}n.$

$\therefore$ পরিবর্তন $=$ **10% বৃদ্ধি**

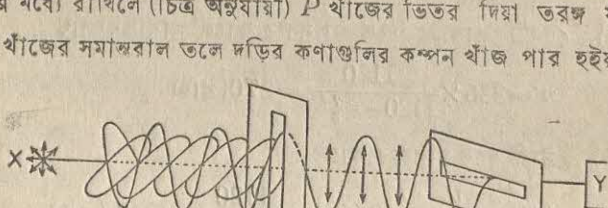
5.4. তরঙ্গের সমবর্তন (Polarisation of waves) :

তির্যক তরঙ্গের ক্ষেত্রে কণাগুলির কম্পন যে কোন তলে হইতে পারে। কণাগুলি যখন কেবল একটিমাত্র তলে কম্পিত হইতে থাকে তাহাকে তরঙ্গের **সমবর্তন** (Polarisation) বলে। 5.4 চিত্রের সাহায্যে একটি তরঙ্গের



চিত্র 5.4

সমবর্তন দেখান হইয়াছে। XY একটি দড়ির Y প্রান্ত একটি ফ্রেমের সহিত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ করা হইয়াছে। X প্রান্তে তির্যক তরঙ্গ উৎপন্ন করিলে উহা দড়ি বরাবর বিস্তার লাভ করিবে। XY দড়িটি P এবং A দুইটি আয়তাকার খাঁজের মধ্যে রাখিলে (চিত্র অনুযায়ী) P খাঁজের ভিতর দিয়া তরঙ্গ যাইবার কালে খাঁজের সমান্তরাল তলে দড়ির কণাগুলির কম্পন খাঁজ পার হইয়া দড়ি



চিত্র 5.5

বরাবর বিস্তার লাভ করিবে কিন্তু অন্য তলের কম্পন পার হইতে পারিবে না। অর্থাৎ তরঙ্গটি খাঁজের সমান্তরাল তলে সমবর্তিত (Polarised) হইয়াছে বলা হয়। এই ক্ষেত্রে, P-কে **সমবর্তক** (Polariser) বলে। A খাঁজটিকে P-এর সমান্তরালে রাখিলে এই সমবর্তিত কম্পন বাধা পাইবে না, খাঁজ পার হইয়া যাইবে। কিন্তু A খাঁজকে P খাঁজের সমকোণে রাখিলে A হইতে Y পর্যন্ত দড়ির কোন কম্পন থাকিবে না (চিত্র 5.5)। ইহাতে P খাঁজের ভিতর

দিয়া আগত তরঙ্গটি সমবর্তিত কিনা বা সমবর্তিত হইলে কোন্ তলে সমবর্তিত তাহা A-র সাহায্যে বিশ্লেষণ করা যায়। তরঙ্গটি অসমবর্তিত হইলে A খাঁজ পার হইবার পর খাঁজের সমান্তরালে দড়ির কম্পন পাওয়া যাইত। কিন্তু এই ক্ষেত্রে কম্পন না পাওয়ার অর্থ, তরঙ্গটি সমবর্তিত এবং A খাঁজের লম্বতলে কণাগুলির কম্পন ছিল। A খাঁজটির সাহায্যে বিশ্লেষণ করা যায় বলিয়া ইহাকে বিশ্লেষক (analyser) বলা হয়।

অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ক্ষেত্রে সমবর্তন ঘটে না। বায়ুমাধ্যমে শব্দতরঙ্গ অনুদৈর্ঘ তরঙ্গ। ফলে শব্দতরঙ্গের প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার ইত্যাদি ঘটিয়া থাকে কিন্তু সমবর্তন হয় না। আলোকতরঙ্গ তির্যকতরঙ্গ, সুতরাং কেবলমাত্র ইহার ক্ষেত্রে সমবর্তন ঘটে। তরঙ্গবিজ্ঞানের অষ্টম অধ্যায়ে আলোক-তরঙ্গের সমবর্তন আলোচনা করা হইয়াছে।

প্রশ্নাবলী

1. তরঙ্গের ব্যতিচার বলিতে কি বুঝ? ব্যতিচার হইবার সর্তগুলি বল। চিত্রসহযোগে ব্যতিচার ব্যাখ্যা কর।

[What do you understand by interference of waves? What are the conditions of interference? Explain interference with the help of a diagram.]

2. স্বরকম্প কি? কিভাবে স্বরকম্প উৎপন্ন হয়? দেখাও যে স্বরকম্পাঙ্ক উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্যের সমান।

একটি টান-দেওয়া তারে 300/সেকেণ্ড কম্পাঙ্কের সুর পাওয়া যাইতেছে। উহার কাছে একটি সুরশলাকা বাজাইয়া প্রতি মিনিটে 180টি স্বরকম্প পাওয়া গেল। তারের দৈর্ঘ্য কমাইলে স্বরকম্পের সংখ্যা কমিয়া গেল। সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কত?

[What are beats? How beats are produced? Show that the beat frequency is equal to the difference of the frequencies of the sources producing beats.

A stretched string vibrates with a frequency 300/sec. A vibrating tuning fork is held near it and the number of beats heard per minute is found to be 180. The number

of beats decreases when the length of the string is decreased. Find the frequency of the tuning fork.]

[Ans. 303/sec]

3. ডপলার ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর। উৎস ও শ্রোতা একই দিকে V_s ও V_0 বেগে ধাবমান হইলে শ্রুত আপাত কম্পাঙ্কের নির্ণায়ক সূত্রটি বাহির কর।

[C. U. '59]

[Explain what is meant by Doppler effect. Obtain an expression for the apparent pitch of the note heard when the source of sound and the observer are moving in the same direction with velocities Vs and V_0.]

4. তরঙ্গের সমবর্তন বলিতে কি বোঝায়? একটি সহজ পরীক্ষার সাহায্যে তরঙ্গের সমবর্তন ব্যাখ্যা কর। সমবর্তক ও বিশ্লেষক কাহাকে বলে?

[What is meant by polarisation of waves? Explain polarisation of waves with the help of a simple experiment. What are polarisers and analysers?]

5. দুইটি স্বরশলাকা একযোগে 4টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে; ইহাদের মধ্যে একটির কম্পাঙ্ক 256; অপর শলাকার উপর সামান্য মোম লাগাইয়া দেখা গেল স্বরকম্পের সংখ্যা কমিয়া গিয়াছে। উহার কম্পাঙ্ক কত?

[Two tuning forks produce 4 beats when sounded together. The frequency of one fork is 256; on loading some wax on the other fork, the beats are found to occur in lesser number. What is its frequency?] [Ans. 260]

6. দুইটি অনুরূপ তার সমস্বরে তির্যক কম্পন করে। একটি তারের টান 2·01 শতাংশ বৃদ্ধি করিয়া তার দুইটি একযোগে কম্পিত করিলে সেকেণ্ডে 3টি হারে স্বরকম্প শোনা যায়। তার দুইটির প্রাথমিক কম্পাঙ্ক কত ছিল?

[C. U. '57]

[Two similar wires vibrate transversely in unison. When the tension in one is increased by 2·01 per cent and the two strings vibrate simultaneously, three beats are produced per second. Find the original frequency of vibraions of the two strings.] [Ans. 300]

7. একটি ট্রেন ঘণ্টায় 80 মাইল বেগে একজন স্থির পর্যবেক্ষককে অতিক্রম করিল। ট্রেনটি ক্রমাগত হুইসিল বাজাইতে থাকিলে এঞ্জিন পর্যবেক্ষকের দিকে অগ্রসর হইবার সময় এবং পর্যবেক্ষক হইতে দূরে চলিয়া যাইবার সময় শ্রুত শব্দের কম্পাঙ্কের অনুপাত নির্ণয় কর। বায়ুতে শব্দের বেগ=1120ফুট/সেকেণ্ড। [C. U. 1963]

[A train passing a stationary observer at 80 miles/hour is sounding its whistle. Calculate the ratio of the frequencies of the notes heard as the engine approaches and recedes. Velocity of sound in air=1120′/sec.] [Ans. 1·23]

8. 1000 কম্পাঙ্কবিশিষ্ট কোন স্থির উৎসের দিকে কোন পর্যবেক্ষক কত বেগে অগ্রসর হইলে প্রতি সেকেণ্ডে 40 ডপলার পরিবর্তন উৎপন্ন হইবে? বায়ুতে শব্দের বেগ=1120 ফুট/সেকেণ্ড [C. U. 1966]

[Calculate the velocity at which an observer should approach a source of frequency 1000 per sec. at rest in order to produce a Doppler shift of 40 per second. Velocity of sound in air=1120′/sec] [Ans. 44·8 ft/sec.]

ষষ্ঠ অধ্যায়

শব্দ-তরঙ্গ (Sound Waves)

6.1. শব্দের তরঙ্গধর্ম (Wave like nature of Sound) :

স্বনকের কম্পন হইতে শব্দের সৃষ্টি হয় এবং বস্তুর মাধ্যমে ইহা বিস্তার লাভ করে। তরঙ্গ বিজ্ঞানের তৃতীয় অধ্যায়ে তরঙ্গের প্রকৃতি এবং ইহার বিস্তার আলোচনা করা হইয়াছে। সেখানে আমরা দেখিয়াছি, স্বনকের কম্পনের শক্তি মাধ্যমের ভিতর দিয়া তরঙ্গপ্রবাহের মাধ্যমে একস্থান হইতে অন্যস্থানে সঞ্চালিত হয়। মাধ্যমের কণাস্তরের ভিতর দিয়া এই প্রবাহ ঘটে, কিন্তু মাধ্যম স্থানান্তরিত হয় না। শব্দও যখন মাধ্যমের ভিতর দিয়া বিস্তার লাভ করে তখন মাধ্যম স্থান ত্যাগ না করিয়া এই শক্তিকে সঞ্চালিত করে। কঠিন পদার্থের মধ্য দিয়া শব্দ বিস্তারের কথা ভাবিলে তাহা সহজেই বুঝা যায়।

স্বনকের কম্পনশক্তি যে তরঙ্গের আকারে প্রবাহিত হয়, তাহা তির্যক বা অনুদৈর্ঘ্য যে-কোন জাতীয় হইতে পারে। শব্দের বিস্তারের ক্ষেত্রে স্থিতিস্থাপক বাস্তব মাধ্যম একান্ত প্রয়োজন বলিয়া শব্দতরঙ্গকে **স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ** (elastic waves) বলা হয়। কঠিন বা তরল পদার্থে অনুদৈর্ঘ্য বা তির্যক—উভয় প্রকার তরঙ্গই উৎপন্ন হইতে পারে, কিন্তু বায়ু বা গ্যাসীয় মাধ্যমে কেবলমাত্র অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ উৎপন্ন হয়। বায়বীয় মাধ্যমে শব্দতরঙ্গ ঘনীভবন ও তনীভবন সৃষ্টি করিয়া প্রবাহিত হয়। তরঙ্গ বিজ্ঞানের তৃতীয় অধ্যায়ে একটি পিষ্টনযুক্ত চোঙের ভিতর এইরূপ তরঙ্গের প্রকৃতি আলোচনা করা হইয়াছে (চিত্র 3.2)।

তরঙ্গের কতকগুলি সাধারণ বৈশিষ্ট্য আছে। শব্দের ক্ষেত্রেও এই বৈশিষ্ট্যগুলি দেখিয়া আমরা বলিতে পারি যে, শব্দ তরঙ্গের আকারে বিস্তার লাভ করে। বৈশিষ্ট্যগুলি হইল :

(i) তরঙ্গের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ ঘটে। শব্দের ক্ষেত্রেও ইহা প্রত্যক্ষ করা যায়।

(ii) একটি নির্দিষ্ট মাধ্যমে তরঙ্গের গতিবেগ নির্দিষ্ট। শব্দের ক্ষেত্রেও ইহা প্রযোজ্য।

(iii) যে-কোন প্রকার তরঙ্গের ক্ষেত্রে ব্যতিচার, ব্যবর্তন বা অপবর্তন (diffraction) দেখা যায় : শব্দের ক্ষেত্রেও তাহা দেখা যায়।

(iv) অন্য তরঙ্গের মতো শব্দের আলোকচিত্র গ্রহণ করা সম্ভব।

6.2. শব্দের বেগ (Velocity of Sound) : উৎস হইতে নির্গত হইয়া শব্দ শ্রোতার কানে বা অন্য কোন শব্দগ্রাহীতে পৌঁছিতে কিছুটা সময় নেয়। ইহা হইতে বুঝা যায়, শব্দের একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব অতিক্রম করিতে একটি নির্দিষ্ট সময় লাগে। শব্দের এই গতিবেগ আবার মাধ্যমের প্রকৃতি ও তাপমাত্রা, আর্দ্রতা-শুষ্কতার উপর নির্ভরশীল। কয়েকশত মিটার উপরে বায়ুমণ্ডলে মেঘের গর্জনের সঙ্গে বিদ্যুৎচমক ঘটে। আলোর গতিবেগ অত্যন্ত বেশী বলিয়া আমরা প্রায় সঙ্গে সঙ্গেই বিদ্যুৎ ঝলকানি দেখিতে পাই, কিন্তু মেঘের গর্জন ইহার কিছুকাল পরে শোনা যায়। ইহার কারণ, আলোর গতিবেগ অপেক্ষা শব্দের গতিবেগ অনেক কম। বায়ুমাধ্যমে শব্দ যে গতিবেগে চলে, তরল বা কঠিন মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ তাহা অপেক্ষা বেশী।

6.3. উন্মুক্ত বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয় (Determination of the velocity of sound in open air) :

উন্মুক্ত বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয় করিবার জন্য বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন দেশের বিজ্ঞানীরা পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন। এই পরীক্ষায় কয়েক মাইলের ব্যবধানে দুইটি পাহাড়ের চূড়ায় দুইজন পর্যবেক্ষক রাখা হয়। একজন বন্দুকের গুলি ছুঁড়িলে অন্যজন তাহার জায়গায় দাঁড়াইয়া বন্দুকের ধোঁয়া দেখিবার কতটা সময় পরে শব্দ শুনিতে পাওয়া যায় তাহা স্টপ-ওয়াচের সাহায্যে নির্ণয় করেন।

পর্যবেক্ষক দুইজনের মধ্যে দূরত্ব S এবং নির্ণেয় সময় t হইলে শব্দের গতিবেগ, স্পষ্টতই, $V=\frac{S}{t}$ হইবে।

এই পরীক্ষায় বায়ুপ্রবাহ থাকিলে, শব্দের বেগের পরিবর্তন হয়। অনুকূল বায়ুপ্রবাহে শব্দের বেগ বাড়ে, প্রতিকূল প্রবাহে কমে। এই ত্রুটি সংশোধনের উদ্দেশ্যে উভয় পর্যবেক্ষক পালাক্রমে বন্দুক ও ঘড়ি ব্যবহার করেন। বায়ু-প্রবাহের বেগ W, এবং নির্ণেয় সময় দুইটি t_1 এবং t_2 হইলে, $S=(V+W)t_1$ এবং $S=(V-W)t_2$, এখানে t_1 এবং t_2 সময় দুইটি যথাক্রমে অনুকূল ও প্রতিকূল প্রবাহে নির্ণয় করা হইয়াছে।

$$\therefore \quad \frac{S}{t_1}=V+W \text{ এবং } \frac{S}{t_2}=V-W$$

$$\therefore \quad \frac{S}{t_1}+\frac{S}{t_2}=2V$$

$$\therefore \quad V=\frac{1}{2}\left(\frac{S}{t_1}+\frac{S}{t_2}\right)=\frac{S}{2}\left(\frac{1}{t_1}+\frac{1}{t_2}\right)$$

ধোঁয়া দেখিবার সঙ্গে সঙ্গে স্টপ-ওয়াচ চালনা করা উচিত। কিন্তু এই দুই ক্রিয়ার মধ্যে কিছু সময়ের ব্যবধান ঘটিতে দেখা যায় এবং এই ব্যবধান ব্যক্তিবিশেষের উপর নির্ভরশীল। ইহাকে ব্যক্তিগত ত্রুটি (personal error) বলে। স্টপ-ওয়াচের পরিবর্তে স্বয়ংক্রিয় ক্রোনোমিটার (chronometer) ব্যবহার করিলে এই ত্রুটি দূর করা যায়।

পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গিয়াছে, $0°C$-এ উন্মুক্ত বাতাসে শব্দের বেগ প্রতি সেকেণ্ডে 332 মিটার। তাপমাত্রা ও আর্দ্রতা বৃদ্ধির সঙ্গে গতিবেগের বৃদ্ধি দেখা যায়।

6.4. শব্দের গতিবেগ সম্পর্কে নিউটনের সূত্র (Newton's formula for the Velocity of Sound) :

স্যার আইজাক নিউটন সর্বপ্রথম গণিতের সাহায্যে সিদ্ধান্ত করেন যে, কোন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে শব্দের বেগ নিম্নলিখিত সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়।

$V=\sqrt{\frac{E}{\rho}}$, E=মাধ্যমের আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক এবং ρ=মাধ্যমের ঘনত্ব।

$$\text{গ্যাসীয় মাধ্যমে } E=\frac{\text{একক ক্ষেত্রফলে চাপের পরিবর্তন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}}$$

ধরা যাক, কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ P এবং আয়তন V; ইহার একক ক্ষেত্রফলে p পরিমাণ চাপ বৃদ্ধি করিলে যদি v পরিমাণ আয়তন হ্রাস পায় তবে, সংজ্ঞা অনুযায়ী, $E=\frac{\text{আয়তন পীড়ন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}}=\frac{p}{v/V}$ ......(1)

নিউটন অনুমান করেন যে, গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দ-তরঙ্গের প্রবাহে গ্যাসের চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন একই তাপমাত্রায় ঘটিয়া থাকে। সুতরাং ইহাকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া ধরিয়া আমরা বয়েল সূত্র হইতে লিখিতে পারি।

$$PV=(P+p)(V-v)=PV-Pv+pV-pv$$

উপরি-উক্ত সমীকরণে, pv-র মান অত্যন্ত ক্ষুদ্র বলিয়া উহাকে উপেক্ষা করা হয়।

$$\therefore \quad PV = PV - Pv - pV$$

অথবা $Pv = pV$

$$\therefore \quad P = pV/v = p\Big/\frac{v}{V} = E. \quad [(1) \text{ হইতে}]$$

সুতরাং গ্যাসের ক্ষেত্রে নিউটনের সূত্রটির রূপ হইবে

$$V = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$$

এখন P স্বাভাবিক বায়ুচাপ এবং ρ প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় বায়ুর ঘনত্ব নির্দেশ করিলে আমরা প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় শব্দের গতিবেগ (V_0) বাহির করিতে পারি।

$$\therefore \quad V_0 \doteq \sqrt{\frac{76 \times 13{\cdot}59 \times 981}{{\cdot}001293}} = 280 \text{ মিটার/সেকেণ্ড}$$

কিন্তু একই পরিবেশে V_0-র পরীক্ষালব্ধ মান 332 মিটার/সেকেণ্ড। সুতরাং বুঝা যাইতেছে, নিউটনের সিদ্ধান্তে কোথাও কোন ত্রুটি রহিয়াছে।

6.5. ল্যাপ্‌ল্যাসের সংশোধন (Laplace's correction) :

নিউটনের সূত্র বাহির হইবার প্রায় 120 বছর পরে 1817 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী ল্যাপ্‌ল্যাস নিউটনের সূত্রের গলদ নির্ধারণ করেন এবং প্রয়োজনীয় সংশোধনও করেন। ল্যাপ্‌ল্যাস সিদ্ধান্ত করেন যে, গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দ-তরঙ্গ যখন ঘনীভবন ও তনীভবনের মাধ্যমে বিস্তার লাভ করে তখন ঘনীভূত ও তনীভূত স্তরগুলিতে তাপমাত্রার পার্থক্য ঘটে। ঘনীভবন এবং তনীভবন এত দ্রুত সম্পন্ন হয় যে, পরিপার্শ্বের সহিত তাপের আদান-প্রদান করিয়া তাপের সমতা রক্ষা করা সম্ভব হয় না। উপরন্তু, গ্যাস বা বায়বীয় পদার্থের তাপ-গ্রাহিতা অত্যন্ত কম। ফলে, এক্ষেত্রে তাপ ও আয়তনের পরিবর্তনকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়ার অন্তর্ভুক্ত করিলে ভুল হইবে। পক্ষান্তরে, গ্যাসে তরঙ্গের বিস্তৃতি রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া। সুতরাং, রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ার প্রয়োজনীয় সম্পর্ক হইতে নিউটনের সূত্রটির সংশোধন করা যায়।

রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক $PV^{\gamma} =$ ধ্রুবক, $\gamma = \dfrac{C_p}{C_v}$

সুতরাং পূর্বোক্ত ক্ষেত্রে, এই সম্পর্ক ধরিয়া লেখা যায়,

$$PV^{\gamma} = (P+p)(V-v)^{\gamma} = (P+p)\, V^{\gamma}\left(1 - \frac{v}{V}\right)^{\gamma}$$

$$\therefore\quad P=(P+p)\left(1-\frac{v}{V}\right)^{\gamma}$$

$=(P+p)\left(1-\gamma\frac{v}{V}+\cdots\quad\right)$, $\frac{v}{V}$ ক্ষুদ্র বলিয়া ইহার উচ্চতর ঘাত-গুলিকে উপেক্ষা করা যায়।

$$\therefore\quad P=P-P\gamma\frac{v}{V}+p-p\gamma\frac{v}{V}$$

আবার, $p\gamma\frac{v}{V}$-র মান অন্য রাশিগুলির তুলনায় উপেক্ষণীয়, সুতরাং

$$P=P-P\gamma\frac{v}{V}+p$$

অথবা, $P\gamma\frac{v}{V}=p$

$\therefore\quad P\gamma=p\Big/\frac{v}{V}=E$ [(1) হইতে]

$\therefore$ গ্যাস মাধ্যমে শব্দের গতিবেগের সম্পর্কটি নিম্নরূপ দাঁড়ায়।

$$V=\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

আগেই বলা হইয়াছে, γ-র মান বিভিন্ন গ্যাসের ক্ষেত্রে বিভিন্ন। বাতাসের ক্ষেত্রে $\gamma=1{\cdot}4$, $\therefore$ বাতাসে শব্দের গতিবেগ, $V=\sqrt{1{\cdot}4}\times280=332$ মিটার/সেকেণ্ড।

দেখা যাইতেছে, ল্যাপ্‌ল্যাসের সংশোধনের সাহায্যে শব্দের গতিবেগের নির্ভুল মান পাওয়া যায়।

6.6. শব্দের বেগের উপর চাপ, তাপমাত্রা ও আর্দ্রতার প্রভাব (Effect of pressure, temperature and humidity on the velocity of sound) :

(a) **চাপের প্রভাব :** তাপমাত্রা স্থির থাকিলে কোন গ্যাসের চাপ P এবং ঘনত্ব ρ-র সম্পর্ক বয়েল সূত্র হইতে পাওয়া যায়।

ইহা $P\propto\rho$, অর্থাৎ, $\frac{P}{\rho}=$ ধ্রুবক।

$\therefore$ $V=\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$ সূত্রে $\frac{P}{\rho}$-এর মান অপরিবর্তিত থাকায় **কেবলমাত্র চাপের পরিবর্তনে শব্দের বেগের কোন পরিবর্তন ঘটে না।**

(b) **তাপমাত্রার প্রভাব :** চাপ অপরিবর্তিত থাকিয়া যদি গ্যাসের তাপমাত্রার পরিবর্তন হয় তবে গ্যাসের ঘনত্বের পরিবর্তন ঘটিবে। ধরা যাক, $0°C$ এবং $t°C$ তাপমাত্রায় কোন গ্যাসের ঘনত্ব যথাক্রমে ρ_0 ও ρ_t এবং ঐ দুই তাপমাত্রায় শব্দের বেগ যথাক্রমে V_0 এবং V_t.

সুতরাং $V_0=\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_0}}$ এবং $V_t=\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_t}}$

$$\therefore \quad \frac{V_t}{V_0}=\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_t}\Big/\frac{\gamma P}{\rho_0}}$$

$$=\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_t}}$$

$$=\sqrt{\frac{\rho_t(1+\alpha t)}{\rho_t}}$$ [α=গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক]

$$=(1+\alpha t)^{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore \quad V_t=V_0(1+\alpha t)^{\frac{1}{2}}$$

$$=V_0(1+\tfrac{1}{2}\alpha t)$$ [αt-র ঊর্ধতর ঘাতগুলি উপেক্ষা করা হইয়াছে]

$$=V_0(1+\tfrac{1}{2}\times{}^{\cdot}00366t)$$

$$=V_0(1+{}^{\cdot}00183t)$$

$V_0=332$ মিটার ধরিলে, $V_t=332(1+{}^{\cdot}00183t)=332+{}^{\cdot}61t$ মিটার $t=1°C$ ধরিলে, $V_1=332+{}^{\cdot}61$ মিটার অর্থাৎ প্রতি সেলসিয়াস ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য ·61 মিটার বা 61 সে.।ম. (প্রায় 2 ফুট) শব্দের বেগবৃদ্ধি ঘটে। আবার V_t জানা থাকিলে, নিম্নলিখিত সম্পর্ক হইতে V_0-র মান বাহির করা যায়।

$$V_0=V_t(1-\tfrac{1}{2}\,\alpha t)$$

(c) **আর্দ্রতার প্রভাব :** বাতাসে আর্দ্রতা বৃদ্ধি পাইলে ঘনত্ব কমিয়া যায়, সুতরাং শব্দের বেগ বৃদ্ধি পায়। $t°C$ এ শুকনো বাতাসে শব্দের বেগ Vd এবং ঐ তাপমাত্রায় আর্দ্রবায়ুতে বেগ Vm হইলে প্রমাণ করা যায় যে,

$$Vd=Vm\sqrt{\frac{P-{}^{\cdot}378f}{P}}$$

এখানে, P=বায়ুমণ্ডলের চাপ এবং $f=t°C$-এ জলীয় টান। তাপমাত্রা ও আর্দ্রতার প্রভাব একত্রে ধরিয়া আমরা লিখিতে পারি,

$$V(o,d)=V(t,m)(1-\tfrac{1}{2}\alpha t)\sqrt{\frac{P-{}^{\cdot}378f}{P}}$$

$V(o,d)=0°C$-এ এবং শুষ্ক বায়ুতে শব্দের বেগ, $V(t,m)=t°C$-এ এবং আর্দ্র বায়ুতে শব্দের বেগ।

উদাহরণ (Examples) : (1) কোন কেল্লা হইতে তোপধ্বনি শুনিয়া এক ব্যক্তি তাহার ঘড়ি মিলাইল। ইহাতে ঘড়িটি 10 সেকেণ্ড স্লো হইল। বাতাসের তাপমাত্রা 15°C। 0°C-এ বাতাসে শব্দের বেগ 332 মিটার/সেকেণ্ড হইলে, কেল্লাটি কতদূরে ছিল ?

উত্তর : 15°C তাপমাত্রায় শব্দের বেগ ছিল $V_{15}=V_0(1+\frac{1}{2}\alpha.15)$

$=332(1+{\cdot}00183\times15)=341{\cdot}15$ মিটার

$\therefore$ 10 সেকেণ্ডে শব্দ কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব$=341{\cdot}15\times10=3411{\cdot}5$ মিটার।

$\therefore$ কেল্লাটি **3411·5 মিটার** দূরে ছিল।

6.7. অন্যান্য মাধ্যমে শব্দের বেগ (Velocity of sound in other media) :

বিজ্ঞানী কোলাডন এবং স্ট্রাম 1825 খ্রীস্টাব্দে জেনেভাস্থিত একটি হ্রদে সর্বপ্রথম জলের মধ্যে শব্দের বেগ পরীক্ষামূলভাবে বাহির করেন। নিউটন-প্রদত্ত সূত্রের সাহায্যেও আমরা জলের মধ্যে শব্দের বেগ বাহির করিতে পারি। জলে শব্দের বেগ,

$$V_\omega=\sqrt{\frac{\text{রুদ্ধতাপ স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক}}{\text{ঘনত্ব}}}=\sqrt{\frac{2.1\times10^{10}}{1}}$$

$=1450$ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে (প্রায়)

নিউটনের সূত্রের সাহায্যে যে-কোন কঠিন পদার্থের ভিতরও শব্দের বেগ বাহির করা যায়। যেমন, লোহার মধ্যে শব্দের বেগ,

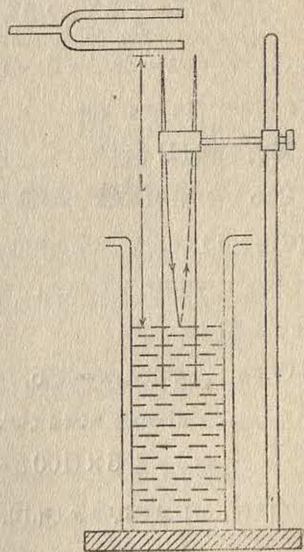
$$V_{Fe}=\sqrt{\frac{\text{লোহার ইয়ং গুণাঙ্ক}}{\text{ঘনত্ব}}}$$

বা $V_{Fe}=\sqrt{\dfrac{2.1\times10^{12}}{7.63}}=5220$ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে (প্রায়)

দেখা যাইতেছে, জলের মধ্যে শব্দের বেগ বাতাসের মধ্যে শব্দের বেগের প্রায় চারগুণ এবং লোহার মধ্যে শব্দের বেগ বাতাসের মধ্যে শব্দের বেগের ষোলগুণের কাছাকাছি।

6.8. পরীক্ষাগারে বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয় (Laboratory method of determination of velocity of sound in air) :

বায়ুস্তম্ভের অনুনাদ পদ্ধতি (Resonant air column method) : এই পদ্ধতিতে একটি লম্বা পাত্রে খানিকটা জল লইয়া উহার ভিতরে একটি দুই-মুখ-খোলা নল প্রবেশ করান হয় (চিত্র 6.1)। ইহাতে নলটি একমুখ-খোলা নলের (closed pipe) কাজ করে। স্ট্যাণ্ডের সাহায্যে নলের ভিতরের বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য প্রয়োজন-মত কমানো-বাড়ানো যাইতে পারে। একটি স্পন্দনশীল স্বরশলাকা নলের খোলামুখে ধরিয়া বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য বাড়াইলে কমাইলে এক সময় বায়ুস্তম্ভে অনুনাদ সৃষ্টি হইবে এবং শব্দ বেশ জোরালো হইবে। বায়ুস্তম্ভের ক্ষুদ্রতম দৈর্ঘ্যের জন্য (মূলসুরের ক্ষেত্রে) ইহা ঘটিয়া থাকিলে, আমরা লিখিতে পারি, $V=4nl$



চিত্র 6.1

n=স্বরশলাকা তথা বায়ুস্তম্ভের পরবশ কম্পাঙ্ক

l=অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য, এবং

V=বায়ুতে শব্দের বেগ।

সুতরাং উপরি-উক্ত সমীকরণে n জানিয়া এবং l মাপিয়া বায়ুতে শব্দের বেগ (V) বাহির করা যায়।

বিজ্ঞানী লর্ড র‍্যালে দেখাইয়াছেন যে, এই পরীক্ষায় কিছু ত্রুটি থাকিয়া যায়। কারণ, নলের মধ্যে সৃষ্ট স্থাণুতরঙ্গের সুস্পন্দ বিন্দুটি ঠিক নলের মুখে অবস্থিত হয় না, সামান্য উপরে থাকে। এই ত্রুটিকে **প্রান্তিক ত্রুটি** (end error) বলে। ইহার সংশোধনের জন্য l-এর স্থলে $l+0{\cdot}6r$ ধরিতে হইবে; এখানে r=নলের ব্যাসার্ধ। অর্থাৎ, সুস্পন্দ বিন্দুটি নলের মুখ হইতে $0{\cdot}6r$ দূরত্বে থাকে।

একাধিক অনুনাদী দৈর্ঘ্য লইয়া প্রান্তিক ত্রুটি পরিহার করা যাইতে পারে।

যেমন, প্রথম উপসুরের ক্ষেত্রে নলের বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য l' হইলে, আমরা জানি,

$$l'+0{\cdot}6r=\frac{3\lambda}{4}$$

আবার, প্রথম অনুনাদের ক্ষেত্রে, $l+0{\cdot}6r=\frac{\lambda}{4}$

$\therefore\quad l'-l=\frac{\lambda}{2}$ বা $\lambda=2(l'-l)$

$\therefore\quad V=n\lambda=2n(l'-l)$ এই সূত্রে n জানা থাকিলে l এবং l' মাপিয়া V-র মান বাহির করা যায়।

উদাহরণ (1) :

256 কম্পাঙ্কবিশিষ্ট একটি সুরশলাকা কোন কাচনলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুস্তম্ভের 33 সে.মি. দৈর্ঘ্যের সময় প্রথম অনুনাদ এবং 100·5 সে.মি. দৈর্ঘ্যের সময় দ্বিতীয় অনুনাদ সৃষ্টি করে। বায়ুতে শব্দের বেগ ও নলের প্রান্তিক ত্রুটি বাহির কর।

উত্তর : এখানে, $n=256$, $l=33$ এবং $l'=100{\cdot}5$

$\therefore$ বাতাসে শব্দের বেগ, $V=2n(l'-l)$ হইতে,

$V=2\times256\times(100{\cdot}5-33)=$ **345·6 মিটার/সেকেণ্ড**

আবার, প্রান্তিক ত্রুটি x সে.মি. ধরিলে, প্রথম ক্ষেত্রে, $33+x=\frac{\lambda}{4}$ (i)

এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $100{\cdot}5+x=\frac{3\lambda}{4}\cdots$(ii)

$\lambda=$নলে শব্দতরঙ্গের দৈর্ঘ্য।

(i) এবং (ii) হইতে, $33+x=\frac{100{\cdot}5+x}{3}$

বা $99+3x=100{\cdot}5+x$

বা $x=0{\cdot}75$ সে. মি.

অনুশীলনী

1. শব্দ তরঙ্গধর্মী, ইহা বলিতে কি বুঝ? উন্মুক্ত বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয়ের পদ্ধতির ত্রুটিগুলি কি এবং কিভাবে উহাদের সংশোধন করা যায়?

[What do you understand by wave-like nature of sound? Discuss the method of determination of the velocity of sound in open air. What are the possible sources of errors in this method and how they can be eliminated?]

2. গ্যাস মাধ্যমে শব্দের বেগ-সম্পর্কিত নিউটনের সূত্রটি বল। ল্যাপ্লাসের সংশোধন কি?

চাপ, তাপমাত্রা ও আর্দ্রতার উপর শব্দের বেগ কিরূপ নির্ভর করে ?

[State Newton's formula for the velocity of sound in a gas. What is Laplace's correction ?

How does the velocity of sound depend on pressure. temperature and humidity ?]

3. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ দ্বারা শব্দের বেগ নির্ণয়ের পদ্ধতিটি বর্ণনা কর। এই পরীক্ষায় প্রান্তিক ত্রুটি বলিতে কি বুঝ ? কিভাবে এই ত্রুটির সংশোধন করা যায় ?

[Describe the method of determining the velocity of sound in air by resonance air column. What do you understand by 'end error' in this method and how this error can be eliminated ?]

4. 0°C তাপমাত্রায় ও 76 সে. মি. পারদের চাপে শব্দের গতিবেগ 330 মিটার/সেকেণ্ড। 27°C ও 374 সে. মি. পারদের চাপে শব্দের বেগ কত হইবে বাহির কর। [C. U. 1935]

[The velocity of sound in air at 0°C and 76 cms. of mercury pressure is 330 metres/second. Calculate the velocity at 27°C and 74 cms. pressure.]

[Ans. 346.6 metres/sec]

5. হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম গ্যাসে শব্দের বেগের তুলনা কর।

[Compare the velocities of sound in hydrogen and helium gass] [Ans. 2 : 1]

6. একটি অর্গ্যান নল 40°C তাপমাত্রায় 256 কম্পাঙ্কের স্বর নির্গত করে। তাপমাত্রা 20°C-এ নামিয়া আসিলে নির্গত স্বরের কম্পাঙ্ক কত হইবে ? [Pat. U 1946]

[If an organ pipe gives a note of 256 when the temperature of air is 40°C, what will be the frequency of the note when the temperature falls to 20°C ?] [Ans. 247.3]

7. 250 কম্পাঙ্কের একটি স্বরশলাকা একটি নলের মুখে ধরিলে বায়ুস্তম্ভের 31 সে. মি. এবং 97 সে. মি. দৈর্ঘ্যের সময় অনুনাদ সৃষ্টি হয়। প্রান্তিক ত্রুটি এবং শব্দের বেগ বাহির কর।

[A fork of freguency 250 is held over a tube and maximum resonance is obtained when the column of air is 31 cms. and 97 cms. long. Determine the end-correction and velocity of sound.] [Ans 2 cms. 330 m/sce.]

সপ্তম অধ্যায়

সুরযুক্ত শব্দ, শব্দ গ্রহণ ও পুনরুৎপাদন
(Musical sound, Recording and Reproduction of Sound)

7.1 শব্দের উৎস (Sources of sound) :

জন্মের পর মানুষ প্রকৃতির যে দুই শক্তির সঙ্গে সর্বপ্রথম পরিচিত হয় তাহার একটি আলোক ও অন্যটি শব্দ। দৈনন্দিন অভিজ্ঞতার মাধ্যমে মানুষ বিভিন্ন প্রকার শব্দের পার্থক্য সম্বন্ধে অবহিত হয় এবং বিভিন্ন শব্দকে আলাদা করিয়া চিনিতে শেখে। সমুদয় শব্দের উৎপত্তির কারণ অনুসন্ধান করিলে দেখা যাইবে জড় বস্তুর কম্পন হইতে শব্দ নির্গত হয়। **যে কম্পনশীল বস্তু হইতে শব্দ নির্গত হয় তাহাকে শব্দের উৎস বলে।**

হাত হইতে ধাতব বাসন মেঝেতে পড়িয়া পরিচিত ঝনঝন আওয়াজ করে। মেঝেতে আঘাত পাইয়া পাত্রটি কাঁপে বলিয়াই শব্দ নিঃসৃত হয়। খালি চোখে এই কম্পন দেখিতে না পাইলেও পাত্রটিকে হাত দিয়া আলতো-ভাবে স্পর্শ করিলে কম্পন অনুভূত হয়। একতারা, গীটার, সেতার, ইত্যাদি বাদ্যযন্ত্রের তারে আঙুলের সাহায্যে এবং কাঁসর, ঘণ্টা, ঢাক, ঢোল, ইত্যাদিতে আঘাত করিয়া কম্পনের সাহায্যে শব্দ সৃষ্টি করা হয়। জিহ্বার সাহায্যে দন্ত, তালু, মূর্ধা, ইত্যাদি মুখ-গহ্বরের নানা অংশে যান্ত্রিক কম্পন সৃষ্টির মাধ্যমে আমরা কথা বলি।

কম্পনশীল বস্তু শব্দ সৃষ্টি করিলেও আমরা সব কম্পাঙ্কের শব্দ শুনিতে পাই না। মোটামুটিভাবে 20 হইতে 20,000 পর্যন্ত কম্পাঙ্কের শব্দ আমাদের মস্তিষ্কে শ্রবণের অনুভূতি জাগায়। ইহাকে শ্রুতিগোচর শব্দ (audible sound) বলে। অবশ্য ব্যক্তিবিশেষের ক্ষেত্রে এই পাল্লার হেরফের হইতে পারে।

7.2 সুরযুক্ত ও সুরবর্জিত শব্দ (Musical sound and noise) :

শব্দরাজিকে সুরযুক্ত ও সুরবর্জিত—এই দুই ভাগে ভাগ করা হয়। এই দুই ভাগের মধ্যে অবশ্য স্পষ্ট কোন সীমারেখা নাই। **যে শব্দ আমাদের কানে সুখমধুর অনুভূতি সৃষ্টি করে তাহাকে সুরযুক্ত, আর যাহা**

বিরক্তি উৎপাদন করে বা যাহা শ্রুতিকটু লাগে তাহাকে সুরবর্জিত শব্দ বলা হয়।

শব্দের সুখকর বা বিরক্তিকর হওয়া অনেকাংশে শ্রোতা-বিশেষের মানসিকতার উপর নির্ভর করে। গান সকলে ভালবাসে কিন্তু লাউডস্পীকারে তাহার সরব প্রকাশে অনেকে বিরক্ত বোধ করে। প্রিয়জনের কথা কানে ভাল লাগিলেও অন্যের কাছে তাহা বিরক্তিজনক মনে হইতে পারে। তবুও বিজ্ঞানের ভিত্তিতে বলা যায়, **স্বনকের নিয়মিত ও পর্যাবৃত্ত কম্পনের ফলে যে শব্দ নিঃসৃত হয়, তাহা সুরযুক্ত, আর অনিয়মিত ও ক্ষণস্থায়ী কম্পনের ফলে যে শব্দ নিঃসৃত হয়, তাহা সুরবর্জিত।** সুরশলাকা, বাদ্যযন্ত্র, ইত্যাদি হইতে সুরযুক্ত শব্দ বাহির হয়। উচ্চ কোলাহল, গাড়ী-ঘোড়ার শব্দ, বোমার বিস্ফোরণ, ইত্যাদি সুরবর্জিত শব্দের অন্তর্ভুক্ত। অনিয়মিত শব্দও অনেক সময় শ্রুতিমধুর লাগে। শিশুদের কাকলি বা স্কুলের ছেলেদের কোলাহল সুরবর্জিত হইলেও কানে খারাপ লাগে না। একটানা স্কুলের শেষে ছুটির অনিয়মিত ঘণ্টার ধ্বনি মানসিক কারণে ছাত্রদের উৎফুল্ল করে।

7.3. সুরযুক্ত শব্দের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of a musical sound) :

যে কোন সুরযুক্ত শব্দের তিনটি বৈশিষ্ট্য থাকে এবং এইগুলির দ্বারা বিভিন্ন সুরযুক্ত শব্দের পার্থক্য বুঝা যায়। ইহারা হইল (i) **প্রাবল্য বা তীব্রতা** (Intensity), (ii) **তীক্ষ্ণতা** (Pitch) এবং (iii) **গুণ** বা **জাতি** (Quality)। নীচে এই বৈশিষ্ট্যগুলি সংক্ষেপে আলোচনা করা হইল।

(1) **তীব্রতা :** যে শব্দ যত জোরে শোনা যায় তাহার তীব্রতা তত বেশী বলা হয়। একক সময়ে শব্দ কানে যে শক্তি বহন করিয়া আনে, তাহা তীব্রতার পরিমাপ। তীব্রতর শব্দ কানের পর্দায় প্রচণ্ড আঘাত করে, ইহাতে পর্দা প্রবলভাবে আন্দোলিত হয়। শব্দের তীব্রতা নিম্নলিখিত কয়েকটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে :

(a) স্বনকের কম্পনের বিস্তার। সুরশলাকার বাহু তাহার স্থির অবস্থানের দুইপাশে যত বেশী দূরত্ব পর্যন্ত কম্পিত হইবে, শব্দও তত বেশী প্রবল হইবে। একতারার তারকে জোরে টানিলে শব্দও জোর হয়।

(b) স্বনকের আকার ও আয়তন। স্বনকের আয়তন বেশী হইলে শব্দ প্রবল হয়। ডুগি-তবলা অপেক্ষা ড্রামের শব্দ এই কারণে তীব্রতর।

(c) মাধ্যমের ঘনত্ব। মাধ্যম যত ঘন হয়, শব্দের তীব্রতা তত বেশী হয়। একই শব্দ বায়ু-মাধ্যম অপেক্ষা এই কারণে তরল বা কঠিন পদার্থের ভিতর জোরে শোনা যায়।

(d) স্বনক হইতে শ্রোতার দূরত্ব। শ্রোতা যত উৎসের কাছাকাছি হয়, তত শব্দের প্রবলতা বেশী দেখা যায়। দূরে চলিয়া গেলে শব্দ ধীরে ধীরে ক্ষীণ হইয়া পড়ে। দেখা গিয়াছে, তীব্রতা, উৎস ও শ্রোতার ভিতর দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

(e) অনুনাদী বস্তুর উপস্থিতি। অনুনাদী বস্তুর উপস্থিতি শব্দের তীব্রতা বাড়ায়। তারের বাদ্যযন্ত্রে এই কারণে ফাঁপা বাক্সে বায়ুকে আবদ্ধ রাখিয়া অনুনাদ সৃষ্টি করা হয়।

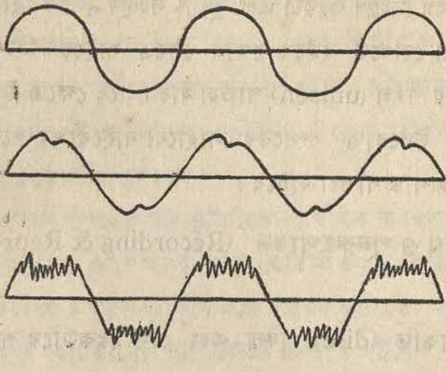
(2) **তীক্ষ্ণতা :** ইহা সুরযুক্ত শব্দের অন্যতম বৈশিষ্ট্য; ইহার সাহায্যে চড়া স্বর ও খাদের স্বরের পার্থক্য করা যায়। তীক্ষ্ণতা কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল। কম্পাঙ্ক বাড়িলে শব্দের তীক্ষ্ণতা বাড়ে। কম্পাঙ্ক বেশী বলিয়া মশার গুণগুণ ধ্বনি বাঘের গর্জন অপেক্ষা তীক্ষ্ণতর। শিশুদের কণ্ঠস্বরের তীক্ষ্ণতা সাধারণত বয়স্ক লোকের তুলনায় বেশী।

কম্পাঙ্কের দ্বারা তীক্ষ্ণতা নির্দিষ্ট হইলেও উহারা এক নহে। তীক্ষ্ণতা প্রকৃতপক্ষে শ্রবণেন্দ্রিয়ে অনুভূতির ফল। কোন সুরযুক্ত স্বরের (note) তীক্ষ্ণতা উহার মূলসুরের কম্পাঙ্ক দ্বারা নির্দেশ করা হয়। স্বর হইল কতকগুলি সুরের সমন্বয়। বাদ্যযন্ত্রে যে সংগীত রচনা করা হয় তাহা প্রকৃতপক্ষে স্বর, আর সুরশলাকা ইত্যাদি হইতে নির্গত একটিমাত্র কম্পাঙ্কের শব্দকে সুর বলে।

(3) **জাতি :** অন্ধকার ঘরে দুইটি বাদ্যযন্ত্র একই তীব্রতা ও একই তীক্ষ্ণতায় বাজিলে আমরা সহজেই শব্দকে আলাদা করিয়া চিনিতে পারি। সুরযুক্ত শব্দের যে ধর্মের জন্য তাহাকে অন্য শব্দ হইতে পৃথক করিয়া চিনিতে পারা যায়, তাহাকে উহার গুণ বা জাতি বলে।

বিজ্ঞানী হেল্‌মোজ (Helmholtz) পরীক্ষা করিয়া দেখেন যে, **স্বরের মধ্যে মূলসুর ও উপসুরগুলির সংখ্যা, উহাদের পারস্পরিক সন্নিবেশ ও আপেক্ষিক তীব্রতার উপর নির্ভর করিয়া জাতিবৈশিষ্ট্য গড়িয়া উঠে।** কোন শব্দের তরঙ্গ-লেখ উহার তীব্রতা ও তীক্ষ্ণতার পরিচয়-জ্ঞাপক। একাধিক সুরযুক্ত স্বরের তীব্রতা ও তীক্ষ্ণতা এক হইলেও গুণ বা জাতির

বিভিন্নতার কারণে উহাদের তরঙ্গরূপ (wave form) বিভিন্ন হয়। চিত্রে



চিত্র 7.1

(চিত্র 7.1) একই তীব্রতা ও তীক্ষ্ণতাযুক্ত কয়েকটি সাধারণ যন্ত্রের জাতি-পার্থক্য উহাদের তরঙ্গরূপের সাহায্যে দেখান হইয়াছে।

7.4. স্বরের তীক্ষ্ণতা নির্ণয় (Determination of the Pitch of a note) :

সাধারণভাবে **সীবেকের সাইরেণের** (Seebeck's siren) সাহায্যে কোন স্বরের তীক্ষ্ণতা নির্ণয় করা যাইতে পারে। সাইরেণটি একটি গোলাকার ধাতব পাত, ইহার সহিত একটি অক্ষদণ্ড-যুক্ত করিয়া ইচ্ছামত বেগে ইহাকে ঘুরানো যায় (চিত্র 7.2)। চাকতির গায়ে কতকগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্তের পরিধি বরাবর সমান দূরে দূরে ছিদ্র করা আছে। একটি সরুমুখ নলের ভিতর দিয়া হাপরের সাহায্যে সজোরে বায়ু চালনা করা হয়। এই সরু মুখকে যে কোন সারির সামনে ধরিলে বায়ু একবার বাধা পায়, পরক্ষণেই ছিদ্রের ভিতর দিয়া নির্গত হয়। চাকতিটিকে অক্ষদণ্ডের সাহায্যে ঘুরাইলে ছিদ্রের ভিতর দিয়া বায়ুর একবার নির্গমন আর পরক্ষণেই বাধা-পাওয়া পর্যায়-ক্রমে চলিতে থাকে, ইহাতে একটি বিশেষ কম্পাঙ্কের শব্দ নিঃসৃত হয়। সরুমুখ নলের অবস্থান পরিবর্তন না করিয়া চাকতিটিকে জোরে ঘুরাইলে শব্দের কম্পাঙ্ক বাড়ে, অর্থাৎ তীক্ষ্ণতা বাড়িয়া যায়। প্রকৃতপক্ষে, নির্গত শব্দের কম্পাঙ্ক = সংশ্লিষ্ট ছিদ্র সংখ্যা × প্রতি-



চিত্র 7.2

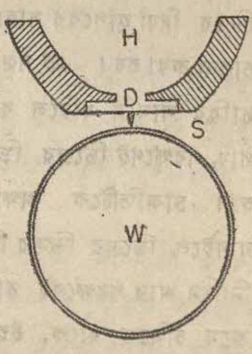
সেকেণ্ডে পাতটির ঘূর্ণন-সংখ্যা। কোন স্বরের তীক্ষ্ণতা নিরূপণ করিতে হইলে সাইরেণের ঘূর্ণন বেগ নিয়ন্ত্রণ করিয়া এবং যুগপৎ সরুমুখ নলকে বিভিন্ন সারির ছিদ্রের সম্মুখে ধরিয়া দেখিতে হইবে কোন ক্ষেত্রে সাইরেণ-নিঃসৃত শব্দের সহিত নির্ণেয় শব্দের মিল (unison) পাওয়া যায়। যে ক্ষেত্রে উভয়ে মিলিয়া যাইবে, সেই ক্ষেত্রে উপরোক্ত সম্পর্কের সাহায্যে সাইরেণের শব্দের কম্পাঙ্ক তথা নির্ণেয় স্বরের কম্পাঙ্ক পাওয়া যাইবে।

7.5. শব্দের গ্রহণ ও পুনরুৎপাদন (Recording & Reproduction of sound) :

গ্রামোফোন চাকতি (disc), ফিল্ম এবং টেপ রেকর্ডারে শব্দকে ধরিয়া রাখা এবং প্রয়োজনমত ইহাকে পুনরুৎপাদন করা যায়—ইহা তোমরা জান। এখানে কয়েকটি পদ্ধতির সংক্ষিপ্ত আলোচনা করা হইল।

(1) **ফোনোগ্রাফ** (Phonograph) : শব্দ রেকর্ডিং-এর সর্বপ্রথম যে ব্যবস্থা উদ্ভাবিত হয় তাহাকে ফোনোগ্রাফী এবং যন্ত্রকে ফোনোগ্রাফ বলা হয়। বিজ্ঞানী টমাস আলভা এডিসন (Thomas Alva Edison) ইহার উদ্ভাবক। পরবর্তীকালে তাঁহার উদ্ভাবিত পদ্ধতির প্রভূত উন্নতি ঘটিয়াছে, তবুও প্রায়োগিক শব্দবিজ্ঞানে ইহার ঐতিহাসিক মূল্য থাকায় যন্ত্রের বর্ণনা ও কার্যপদ্ধতি বলা হইল।

এই যন্ত্রে মোমের প্রলেপযুক্ত একটি ড্রাম *W*-কে ঘোরান হয় (চিত্র 7.3)। একই সঙ্গে ইহাকে অক্ষ-বরাবর সামনের দিকে চালনা করিবার ব্যবস্থাও থাকে। ড্রামের উপরে একটি শঙ্কু আকৃতির চোঙ বা হর্ন-*H* আছে, হর্নের সরু প্রান্তে একটি পাতলা ধাতব বা অভ্রের পাত *D* দৃঢ়ভাবে সংবদ্ধ। এই পাতলা পাতকে ডায়াফ্রাম (diaphragm) বলে। ডায়াফ্রামের সামনে হর্নের মুখে কথা বলিলে কিংবা গান করিলে শব্দতরঙ্গ ডায়াফ্রামের দিকে অভিসারী হয়। ইহাতে ডায়াফ্রামটি কম্পিত হয়। একটি সরু পিন বা শলাকা (style) *S*, ডায়াফ্রামের নীচে লাগান আছে, ইহার অগ্রভাগ মোমের প্রলেপকে স্পর্শ করিয়া থাকে।



চিত্র 7.3

হর্নের সামনে কথা বলিবার সঙ্গে সঙ্গে হাতল বা অনুরূপ ব্যবস্থায় ড্রামটিকে যুগপৎ ঘোরান এবং সামনের দিকে চালনা করা হয়। শব্দতরঙ্গের আঘাতে ডায়াফ্রামটি কাঁপিতে থাকে, ফলে পিনের অগ্রভাগ মোমের উপর দাগ কাটিয়া যায়। ডায়াফ্রামের কম্পন শব্দের তীব্রতার উপর নির্ভরশীল, সুতরাং মোমের উরর দাগের গভীরতা শব্দের তীব্রতা অনুযায়ী ঘটিবে। ইহাকে শব্দের রেকর্ডিং বলা হয়।

শব্দের পুনরুৎপাদনের জন্য ড্রামটিকে প্রাথমিক অবস্থানে রাখিয়া হাতলের সাহায্যে পূর্বেকার বেগে একই ভাবে ঘোরান হয়। ইহাতে পিনের অগ্রভাগ কাটা দাগ বরাবর চলিতে থাকিবে এবং দাগের গভীরতা অনুযায়ী পিনটি তথা পিনের সহিত আটকানো ডায়াফ্রামটি কম্পিত হইবে। এই কম্পনের ফলে হর্নের বায়ুস্তরে পূর্ব-উচ্চারিত কথা বা গানের হুবহু পুনরাবৃত্তি ঘটে।

(2) **গ্রামোফোন** (Gramophone) : এডিসন-আবিষ্কৃত ফোনোগ্রাফের অন্যতম অসুবিধা এই যে, মোমের উপর কাটা দাগ বেশী দিন স্থায়ী হয় না। কয়েকবার ব্যবহারেই দাগের গভীরতার তারতম্য পরিবর্তিত হয়, ফলে শব্দ ঠিক-ঠিক পুনরুৎপাদিত হয় না। গ্রামোফোন যন্ত্রে এই অসুবিধা দূর করা হইয়াছে। ড্রামের পরিবর্তে এখানে গোল চাকতি ব্যবহার করা হয় এবং পিনের গতিপথ কেন্দ্রবিন্দু হইতে সুরু করিয়া সর্পিল (helical) আকারে পরিধিতে মিশে। একটি স্প্রিং-এর সাহায্যে চাকতিটিকে ঘোরান হয়। শব্দতরঙ্গ অনুযায়ী পিনটি কম্পিত হইলে চাকতির উপর পিনের দাগের প্রস্থের তারতম্য ঘটে, অর্থাৎ এখানে গভীরতার পরিবর্তে অসমান প্রস্থের দাগ কাটা হয়।

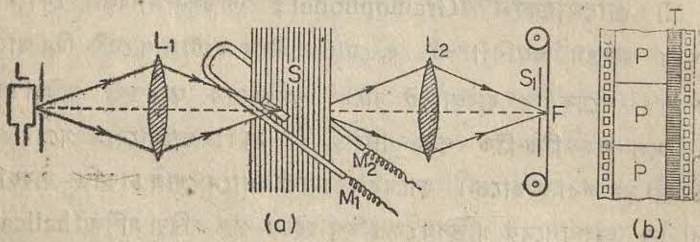
শব্দের পুনরুৎপাদনের পদ্ধতি ফোনোগ্রাফের মতই। তবে এখানে পিনের পার্শ্বগতির তারতম্য একটি লিভারের সাহায্যে বিবর্ধিত করা হয়। এই বিবর্ধিত গতিকে ডায়াফ্রামে সংবাহিত করিলে জোরালো শব্দ বাহির হয় এবং শব্দের যথাযথ পুনরুক্তি ঘটে।

স্থায়ী রেকর্ড তৈয়ারী করিবার উদ্দেশ্যে মোমের প্রলেপযুক্ত চাকতি হইতে ইলেকট্রোপ্লেটিং-এর সাহায্যে কোন ধাতব চাকতিতে দাগগুলি তুলিয়া লওয়া হয় এবং ধাতব চাকতি হইতে কোন থার্মোপ্ল্যাস্টিক চাকতিতে ছাঁচটি ধরিয়া রাখা হয়।

(3) **ফিল্ম** (Film) : বর্তমান চলচ্চিত্রে যে ফিল্ম ব্যবহার করা হয় তাহার দৈর্ঘ্য বরাবর একপ্রান্তে শব্দরেখা (sound track) থাকে। প্রমাণ

ফিল্মের প্রস্থ 35 মি.মি., ইহার মধ্যে শব্দের জন্য নির্ধারিত জায়গা 2·5 মি.মি.। ফিল্মে শব্দ গ্রহণের দুই ধরনের পদ্ধতি আছে, (i) **পরিবর্তনীয় ঘনত্ব পদ্ধতি** (Variable density method) এবং (ii) **পরিবর্তনীয় ক্ষেত্রফল পদ্ধতি** (Variable area method)। এখানে প্রথম পদ্ধতিটি সংক্ষেপে বর্ণনা করা হইল।

পরিবর্তনীয় ঘনত্ব পদ্ধতি ঃ এই পদ্ধতিতে একটি ফিলামেণ্ট বাতি (L) হইতে নির্গত আলোক একটি লেন্সের (L_1) সাহায্যে দুইটি ডুরালুমিনিয়াম রিবনের (duraluminium ribbon M_1, M_2) মধ্যে ফোকাস করা হয় চিত্র 7.4a)। রিবন দুইটি একটি সরু ছিদ্র তৈয়ারী করে এবং ইহারা একটি চৌম্বকক্ষেত্র অবস্থান করে। একটি উল্লম্ব স্লিট (S) রিবনের সামনে রাখিয়া স্থির আলোকে উহাকে আলোকিত করা হয়। একটি মাইক্রোফোনে (চিত্রে

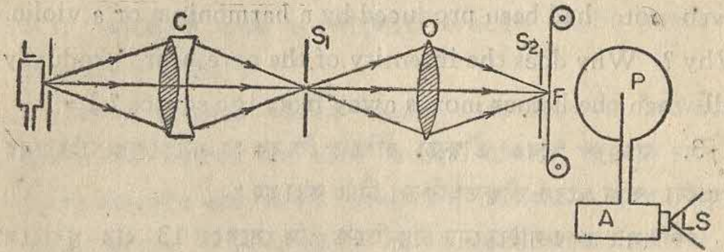


চিত্র 7.4

দেখান হয় নাই) কথা বলিলে বা গান করিলে উচ্চারিত শব্দ অনুযায়ী মাইক্রোফোনে তড়িৎপ্রবাহ পরিবর্তিত হয়। এই পরিবর্তিত প্রবাহ রিবনে সংবাহিত করিলে রিবন দুইটি চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে কাঁপিতে থাকে, ফলে রিবনের ছিদ্রের প্রস্থের তারতম্য ঘটে। ইহাতে ছিদ্রের ভিতর দিয়া নির্গত আলোকের তীব্রতার তারতম্য ঘটে। এই আলোক একটি লেন্স (L_2) এবং একটি ছিদ্রের (S_1) ভিতর দিয়া গতিশীল ফিল্মের (F) উপর ফোকাস করিলে ফিল্মে বিভিন্ন অনচ্ছতার (opacity) সমান্তরাল রেখা (T) উৎপন্ন হইবে। এইগুলি ফিল্মে শব্দরেখা এবং ইহাদের অনচ্ছতা মূল শব্দের তীব্রতা অনুযায়ী ঘটে। ফিল্মে ছবির (P) পাশাপাশি শব্দরেখাগুলি (T) অবস্থান করে (চিত্র 7.4b)।

ফিল্মে শব্দের পুনরুৎপাদন (Reproduction of sound in films) ঃ পরিবর্তনীয় ঘনত্ব বা ক্ষেত্রফল—যে পদ্ধতিতেই শব্দ গ্রহণ করা হউক না কেন, শব্দের পুনরুৎপাদনের পদ্ধতি একই। একটি ফিলামেণ্ট বাতি (L) তে নির্গত আলোক যথাক্রমে একটি লেন্স-সমন্বয় (C), ছিদ্র (S_1), একটি

অভিসারী লেন্স (O) এবং অপর একটি ছিদ্রের (S_2) সাহায্যে গতিশীল ফিল্মের (F) উপর ফেলা হয় (চিত্র 7.5)। লক্ষ্য রাখিতে হইবে, এই ক্ষেত্রে ফিল্মের গতিবেগ যেন শব্দগ্রহণকালীন ফিল্মের গতিবেগের সমান হয়। নতুবা পুনরুৎপাদিত শব্দের কম্পাঙ্ক যথাযথ থাকিবে না। ফিল্মের ভিতর দিয়া যে আলোক



চিত্র 7.5

নির্গত হয় তাহা শব্দ রেখার ঘনত্ব বা ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করিয়া বিভিন্ন তীব্রতার হয়। এই বিচলিত তীব্রতার আলোক একটি ফোটো-ইলেকট্রিক সেলে (P) পড়ে এবং উহা বিচলিত তড়িৎপ্রবাহে রূপান্তরিত হয়। এই পরিবর্তিত তড়িৎপ্রবাহকে বিবর্ধকের (A) সাহায্যে বিবর্ধিত করিয়া লাউড-স্পীকারে পাঠানো হয়। সেখানে তড়িৎশক্তি শব্দশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

(4) টেপ-রেকর্ডিং (Tape-recording) : ফোনোগ্রাফ ও গ্রামোফোনে যান্ত্রিক পদ্ধতিতে এবং ফিল্মে আলোকীয় পদ্ধতিতে শব্দগ্রহণ করা হয়। বর্তমানে বহুল-ব্যবহৃত পদ্ধতিটি হইল চৌম্বক পদ্ধতি। টেপ-রেকর্ডারে এই পদ্ধতিতে একটি ইস্পাতের ফিতা বা পরিবর্তে একটি প্ল্যাষ্টিকের ফিতার উপর লোহার ম্যাগনেটিক অক্সাইডের আস্তরণের উপর শব্দকে ধরিয়া রাখা হয়। ফিতার বিভিন্ন অংশে চুম্বকমাত্রার তারতম্যের মাধ্যমে শব্দের কম্পনগুলি বিধৃত করা হয়।

প্রশ্নাবলী

1. সুরযুক্ত ও সুরবর্জিত শব্দের পার্থক্য বল। সুরযুক্ত শব্দের বিশেষত্ব কি এবং উহারা কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে।

[State the difference between musical sound and noise. What are the characteristics of a musical sound and on what factors do they depend ?]

2. একটি অন্ধকার ঘরে না দেখিয়া বলা যায় যে কোন শব্দ হার্মোনিয়াম দ্বারা হইতেছে কিংবা বেহালা দ্বারা হইতেছে। কেন? শ্রোতা উৎস হইতে দূরে সরিয়া গেলে শব্দের তীব্রতা কমিয়া যায় কেন?

[In a dark room one would be able to tell whether a given note had been produced by a harmonium or a violin. Why? Why does the intensity of the note heard gradually fall when the listner moves away from the source?]

3. সুরযুক্ত স্বরের তীক্ষ্ণতা বলিতে কি বুঝ? সীবেকের সাইরেনের সাহায্যে কোন স্বরের তীক্ষ্ণতা কিরূপ নির্ণয় করা হয়?

একটি সীবেকের সাইরেনের চাকতিকে প্রতি সেকেণ্ডে 13 বার ঘুরাইলে 512 কম্পাঙ্কযুক্ত শব্দ নির্গত হয়। চাকতির ছিদ্র সংখ্যা কত?

[What do you understand by pitch of a musical note? How the pitch of musical note can be determined with the help of a Seebeck's siren?

When the disc of a Seebeck's siren is revolved 13 times per second, the sound emitted is of frequency 512; find the number of holes on the disc.] [Ans : 40]

4. সবাক চলচ্চিত্রে শব্দগ্রহণ ও শব্দের পুনরুৎপাদন পদ্ধতির বর্ণনা কর।

[Give an account of recording and reproduction of sound in talkies.]

5. সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ: (a) ফোনোগ্রাফ, (b) গ্রামোফোন।

[Write short notes on: (a) Phonograph, (b) Gramophone.]

অষ্টম অধ্যায়

আলোক তরঙ্গ (Light Waves)

8.1. আলোক তরঙ্গ ও আলোর গতিবেগ (Light waves and velocity of light) :

বিজ্ঞানী হায়জেন্‌ই সর্বপ্রথম আলোর তরঙ্গ তত্ত্বের কথা চিন্তা করেন। তাঁহার তত্ত্ব অনুযায়ী উৎস হইতে তরঙ্গের আকারে আলোক চারিদিকে বিস্তার লাভ করে এবং নিঃসৃত তরঙ্গমুখগুলি গোলকীয়। তরঙ্গ বিজ্ঞানের তৃতীয় অধ্যায়ে যে কোন তরঙ্গের ধর্ম ও প্রকৃতি সম্বন্ধে আলোচনা করা হইয়াছে। আলোক তরঙ্গের বিস্তারের জন্য সর্বপরিব্যাপ্ত একটি কাল্পনিক মাধ্যম ইথারের কথাও বলা হইয়াছে। সাধারণভাবে যে কোন তরঙ্গের ক্ষেত্রে ব্যতিচার, সমবর্তন, ব্যবর্তন (diffraction) ইত্যাদি লক্ষ্য করা যায়, আলোকতরঙ্গের ক্ষেত্রেও ইহার ব্যতিক্রম ঘটে না। প্রকৃতপক্ষে, আলোর ব্যতিচার, ব্যবর্তন ইত্যাদি ঘটনার ব্যাখ্যার সাফল্যের কারণে হায়জেনের তরঙ্গতত্ত্ব প্রতিষ্ঠা লাভ করিয়াছে।

ব্যতিচার সম্বন্ধে তোমরা জানিয়াছ, এখন ব্যবর্তন বলিতে কি বোঝায় তাহা সংক্ষেপে আলোচনা করা যাক্। একটি অস্বচ্ছ ধাতব প্লেটের মাঝখানে খুব সরু সূচের সাহায্যে একটি লম্বা চিড় (Slit) তৈয়ারী করিয়া আলোর সামনে ধরা হইল। পিছনে একটা পর্দা রাখিলে চিড়ের আকৃতির অনুরূপ আলোকিত অংশের পরিবর্তে পর্দায় সেই জায়গায় কতকগুলি উজ্জ্বল ও অন্ধকার রেখার একটি সমাবেশ দেখা যাইবে। ইহাকেই আলোর ব্যবর্তন বলে। ইহার কারণ, চিড়ের উপর যে আলোর সরল তরঙ্গমুখ আসিয়া পড়ে তাহাতে চিড় হইতে অসংখ্য গৌণ-তরঙ্গমুখ বাহির হয় এবং এই গৌণ তরঙ্গগুলি পরস্পর ব্যতিচার সৃষ্টি করিয়া উজ্জ্বল ও অন্ধকারময় রেখামণ্ডলের সমাবেশ ঘটায়। আলোর সরলরৈখিক গমনের সাহায্যে এই ঘটনাকে ব্যাখ্যা করা সম্ভব নয়, একমাত্র তরঙ্গতত্ত্বের সাহায্যেই ইহাকে প্রতিষ্ঠিত করা যায়।

মাধ্যমের মধ্যে তরঙ্গ একটি নির্দিষ্ট গতিবেগে বিস্তার লাভ করে, ইহা আমরা জানি। সুতরাং আলোকতরঙ্গও একটি নির্দিষ্ট বেগে চলাচল করে, ইহাকে আলোর গতিবেগ বলে। শব্দেরও বেগ আছে এবং সাধারণ পরীক্ষায় তাহা নির্ণয় করা সম্ভব। একই ধরনের পরীক্ষায় আলোর বেগ নির্ণয় করিতে

গিয়া বিজ্ঞানীরা বিভ্রান্ত হইয়া পড়েন। কারণ, উৎস হইতে নির্গত হইয়া আলো এত দ্রুত বিস্তার লাভ করে যে সাধারণ পরিমাপ পদ্ধতি সম্পূর্ণ অচল হইয়া পড়ে। ফলে আলোর সসীম গতিবেগ (finite velocity) সম্পর্কে তাঁহাদের কোন ধারণা ছিল না।

পরবর্তীকালে রোমার (Romer), ফুকো (Foucault), মাইকেলসন (Michelson) প্রমুখ বিজ্ঞানীরা উন্নততর পদ্ধতিতে আলোর গতিবেগ নির্ণয় করিতে সক্ষম হন। তাঁহাদের পরীক্ষালব্ধ মান প্রতি সেকেণ্ডে 3×10^{10} সে.মি. বা প্রায় একলক্ষ ছিয়াশী হাজার মাইল। এই গতিবেগ অবশ্য শূন্য স্থান বা বায়ুমাধ্যমের ভিতর। অন্যান্য স্বচ্ছ মাধ্যমে আলোর গতিবেগ মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। তোমরা আলোকবিজ্ঞানে মাধ্যম্যের প্রতিসরাঙ্কের ক্ষেত্রে দেখিয়াছ, মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক মাধ্যমে আলোর গতিবেগের উপর নির্ভরশীল। মাধামে আলোর গতিবেগ যত কমে, আলোকসাপেক্ষে মাধ্যমকে তত ঘন বলা হয় (অর্থাৎ প্রতিসরাঙ্ক বেশী)।

যে আলো আমাদের চোখে দর্শনের অনুভূতি জাগায় তাহার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য মোটামুটিভাবে 4000 হইতে 8000 অ্যাংস্ট্রম একক (1 অ্যাংস্ট্রম একক= 10^{-8} সে.মি.)। ইহাকে আমরা দৃশ্য-বর্ণালী বলি। ইহার দুইপাশে বৃহত্তর ও ক্ষুদ্রতর তরঙ্গবিশিষ্ট একটি বিস্তৃত অদৃশ্য বর্ণালী আছে।

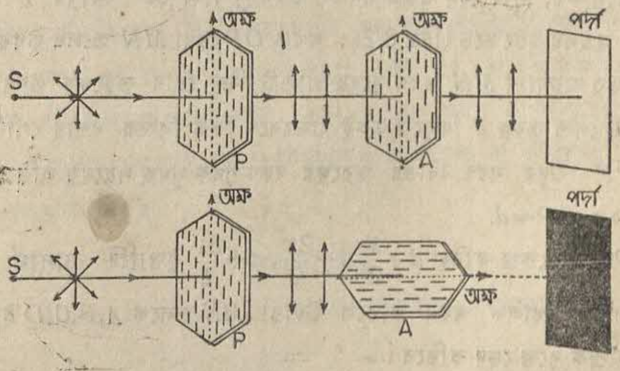
দৃশ্য-অদৃশ্য সকল তরঙ্গই বিজ্ঞানী **ম্যাক্সওয়েল** (Maxwell) প্রবর্তিত তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গগোষ্ঠীর (Electromagnetic waves) অন্তর্ভুক্ত। এই তরঙ্গগোষ্ঠীর মূলকথা হইল ইহাদের মাধ্যমে যান্ত্রিকশক্তির সঞ্চালনের পরিবর্তে তড়িৎ-চুম্বকীয় শক্তির সঞ্চালন হয় এবং তরঙ্গের বিস্তার তড়িৎ ও চুম্বকীয় ভেক্টরের সমকোণে ঘটে। ফলে, এই সকল তরঙ্গ তির্যক তরঙ্গ। শব্দতরঙ্গের সাহায্যে যান্ত্রিক কম্পন সঞ্চালিত হয়। অতএব ইহা তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ নয়। ম্যাক্সওয়েল গণিতের সাহায্যে দেখান যে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ 3×10^{10} সে.মি./সেকেণ্ড বেগে চলাচল করে। অতি ক্ষুদ্র কস্‌মিক রশ্মি ($\lambda\sim5\times10^{-13}$ সে.মি.) হইতে অতি বৃহৎ রেডিও তরঙ্গ পর্যন্ত সকল তরঙ্গই এই গোষ্ঠীর অন্তর্গত।

এই তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ তথা আলোর গতিবেগের আর একটি বৈশিষ্ট্য হইল এ পর্যন্ত জানা গতিবেগের মধ্যে ইহাই সর্বাপেক্ষা বেশী। আইনষ্টাইন তাঁহার বিখ্যাত আপেক্ষিকতাবাদে দেখাইয়াছেন যে, কোন বস্তুকণার গতিবেগ আলোর গতিবেগের বেশী, এমনকি, তাহার সমান হওয়াও সম্ভব নয়। উপরন্তু,

আলোর গতিবেগ আলোর উৎস বা দর্শকের আপেক্ষিক গতির উপর নির্ভর করে না। ব্যাপারটি দাঁড়ায় এইরূপ, আলোর গতিবেগের সঙ্গে কোন গতিবেগ যোগ বা বিয়োগ করিয়া আপেক্ষিক গতি বাহির করিলে তাহা আলোর গতিবেগেরই সমান হয়, বেশী বা কম হয় না। গণিতশাস্ত্রে অসীমের (infinity) সহিত এই ব্যাপারে আলোর গতিবেগ তুলনীয়। তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের এই গতিবেগকে একটি প্রাকৃতিক ধ্রুবক বলা যায়।

8.2. আলোর সমবর্তন (Polarisation of light) :

তরঙ্গ বিজ্ঞানের পঞ্চম অধ্যায়ে তির্যক তরঙ্গের সমবর্তন ব্যাখ্যা করা হইয়াছে। আলোও যেহেতু তির্যক তরঙ্গের মাধ্যমে বিস্তার লাভ করে, সেইহেতু ইহার সমবর্তন ঘটানো যায়। টুরমালিন (tourmaline)-জাতীয় কতকগুলি স্ফটিককে সমবর্তক ও বিশ্লেষক হিসাবে ব্যবহার করা যায়। টুর-মালিন স্ফটিকের বিশেষত্ব হইল, ইহার মধ্যদিয়া কোন অসমবর্তিত আলোক-



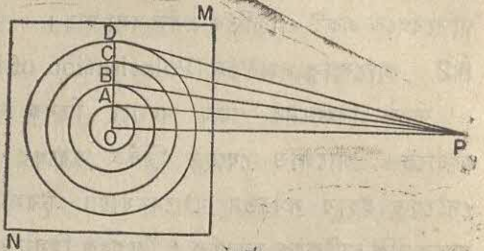
চিত্র 8.1

রশ্মি গমন করিলে নিঃসৃত রশ্মি স্ফটিকের আলোক-অক্ষের (optic axis) সমান্তরালে সমবর্তিত হয়। 8.1 চিত্রের প্রথমটিতে P এবং A দুইটি টুরমালিন স্ফটিককে উহাদের আলোক অক্ষের সমান্তরালে রাখা হইয়াছে। উৎস S হইতে নির্গত অসমবর্তিত আলো P ভেদ করিয়া অক্ষের সমান্তলালে সমবর্তিত হইয়াছে। এই সমবর্তিত আলো A ভেদ করিয়া পর্দাকে আলোকিত করিয়াছে। এখন A-কে ঘোরাইয়া P-র আড়াআড়ি করিয়া দিলে (উভয় আলোক-অক্ষ পরস্পর সমকোণে) P দ্বারা সমবর্তিত আলো A-তে বাধা পাইবে। ফলে পর্দায় কোন আলো পড়িবে না এবং উহা অন্ধকার দেখা যাইবে। A-কে ঘোরাইয়া পুনরায় আগের অবস্থানে আনিলে

আলো আবার পর্দায় পড়িবে। সুতরাং A স্ফটিকটি বিশ্লেষকের কাজ করিতেছে।

8.3. জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানের যুক্তি-সিদ্ধতা (Validity of geometrical optics) :

জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানে আমরা আলোর সরলরৈখিক গতি ধরিয় আলোকবিজ্ঞানের বিভিন্ন প্রাকৃতিক ঘটনার ব্যাখ্যা করিয়াছি। আলোর তরঙ্গতত্ত্বের সাহায্যে ও আলোর এই সরলরৈখিক গতিকে মোটামুটিভাবে প্রতিষ্ঠিত করা যায়।



চিত্র 8.2

মনে কর, MN যেন একটি সমতল তরঙ্গমুখ যাহা OP বরাবর P বিন্দুর দিকে অগ্রসর হইতেছে (চিত্র 8.2) ; অর্থাৎ OP রেখা MN তলের উপর লম্ব। তরঙ্গতত্ত্ব অনুযায়ী MN তরঙ্গ মুখের প্রতিটি বিন্দু গৌণ তরঙ্গের উৎস এবং প্রতিটি গৌণ তরঙ্গ P বিন্দুতে একই গতিবেগে কিন্তু বিভিন্ন দশায় পৌছিবে। ফলে P বিন্দুর সরণ বিভিন্ন তরঙ্গের দরুণ পৃথক পৃথক সরণের লব্ধি হইবে। মনে কর, $OP=d$.

P কে কেন্দ্র করিয়া $d+\frac{\lambda}{2}, d+\frac{2\lambda}{2}, d+\frac{3\lambda}{2}$ ইত্যাদি ব্যাসার্ধ লইয়া কতকগুলি গোলক অঙ্কন করিলে উহারা MN তলকে A, B, C, D ইত্যাদি সমকেন্দ্রিক বৃত্তে ছেদ করিবে।

এখন OA-ব্যাসার্ধবিশিষ্ট প্রথম বৃত্তের ক্ষেত্রফল $=\pi.OA^2=\pi(PA^2-OP^2)$

$$=\pi\left\{\left(d+\frac{\lambda}{2}\right)^2-d^2\right\}=\pi d\lambda$$

$\left[\text{এখানে } \frac{\lambda^2}{4} \text{ ক্ষুদ্র বলিয়া উপেক্ষা করা হইয়াছে}\right]$

পুনরায় OB-ব্যাসার্ধবিশিষ্ট দ্বিতীয় বৃত্তের ক্ষেত্রফল

$$=\pi.OB^2=\pi\{(d+\lambda)^2-d^2\}$$

$$=2\pi d\lambda \text{ [এখানে } \lambda^2 \text{ উপেক্ষা করা হইয়াছে]}$$

$\therefore$ সুতরাং প্রথম বলয়াকৃতি অঞ্চলের ক্ষেত্রফল $=2\pi d\lambda-\pi d\lambda=\pi d\lambda$.

এইভাবে দেখান যাইতে পারে যে প্রতিটি বলয়াকৃতি অঞ্চলের ক্ষেত্রফল $\pi d\lambda$; এই অঞ্চলগুলিকে ফ্রেনেলের অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চল বলে।

ধরা যাক, P বিন্দুতে কেন্দ্রীয় বৃত্ত এবং অর্ধ পর্যায়কাল অঞ্চলগুলির জন্য সরণগুলি যেন d_1 d_2, d_3, d_4 ইত্যাদি। কেন্দ্র হইতে যত দূরবর্তী অঞ্চলে যাওয়া যাইবে তত দূরত্ব এবং আনতকোণের পরিবর্তনের জন্য সরণের মান হ্রাস পায়। উপরন্তু, অঞ্চলগুলির গড় পারস্পরিক দূরত্ব $\frac{\lambda}{2}$ বলিয়া উহাদের জন্য P বিন্দুতে সরণ পর্যায়ক্রমে বিপরীত দশাসম্পন্ন হইবে। সুতরাং P বিন্দুতে লব্ধি-সরণ, $D=d_1-d_2+d_3-d_4...$ এইভাবে লেখা যায়।

$$\therefore\ D=d_1-d_2+d_3-d_4+d_5-d_6+\ldots$$

$$=\frac{d_1}{2}+\left\{\frac{d_1+d_3}{2}-d_2\right\}+\left\{\frac{d_3+d_5}{2}-d_4\right\}+\ldots$$

$$=\frac{d_1}{2},$$ কারণ বন্ধনীস্থিত পদগুলি শূন্য,

যেহেতু $\frac{d_1+d_3}{2}=d_2$, $\frac{d_3+d_5}{2}=d_4$ ইত্যাদি।

ফলে, P বিন্দুতে MN তরঙ্গমুখের জন্য লব্ধ সরণ প্রথম অর্ধপর্যায়কাল অঞ্চলের জন্য সরণের অর্ধেক। সুতরাং OP পথে কোন ক্ষুদ্র অস্বচ্ছ বস্তু রাখিলে, P বিন্দুতে বাস্তবক্ষেত্রে কোন আলো আসে না বলিলেই চলে। ইহাতে প্রমাণিত হয়, আলোর সরলরৈখিক গতি অভ্রান্ত না হইলেও মোটা-মুটিভাবে যুক্তি নির্ভর।

প্রশ্নাবলী

1. (a) আলোক তরঙ্গ, (b) আলোর গতিবেগ-এর উপর সংক্ষিপ্ত টীকা লিখ।

[Write short notes on (a) Light waves, (b) Velocity of light.]

2. আলোর সমবর্তন বলিতে কি বুঝ? একটি পরীক্ষার সাহায্যে আলোর সমবর্তন ব্যাখ্যা কর।

[What do you mean by polarisation of light ? Explain polarisation of light with an illustration.]

3. তরঙ্গতত্ত্বের সাহায্যে আলোর সরলরৈখিকগতি কিভাবে প্রতিষ্ঠিত করা যায়?

[How the rectilinear propagation of light can be established on the wave theory ?]

চুম্বক-বিজ্ঞান (Magnetism)

প্রথম অধ্যায়

চুম্বক ও চুম্বকক্ষেত্র

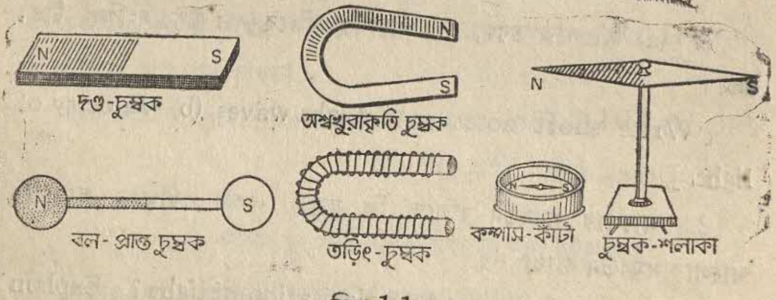
(Magnets and Magnetic Field)

1.1. সূচনা (Introduction) :

বহুকাল পূর্বে এশিয়া মাইনরের ম্যাগনেশিয়া অঞ্চলে লৌহ ও অক্সিজেনের সমন্বয়ে গঠিত **ম্যাগনেটাইট** (magnetite) নামক একপ্রকার খনিজ পদার্থ আবিষ্কৃত হইয়াছিল। এই খনিজ পদার্থের দুইটি বিশেষ গুণ পরিলক্ষিত হয়। প্রথমটি হইল, ইহার কাছে কোন লৌহখণ্ড ধরিলে উহা লৌহখণ্ডকে আকর্ষণ করে ; দ্বিতীয়তঃ, একটি সুতার সাহায্যে এইরূপ একখণ্ড পাথরকে ঝুলাইয়া দিলে পাথরটি কয়েকবার এদিক-ওদিক ঘুরিয়া অবশেষে উত্তর-দক্ষিণে লম্বা হইয়া স্থির হয়।

যে পদার্থের এইরূপ আকর্ষণী ও দিগ্‌ধর্মী ধর্ম থাকে, তাহাকে **চুম্বক** (magnet) এবং ইহার ধর্মকে **চুম্বকত্ব** (magnetism) বলে। ম্যাগনেটাইট প্রকৃতিজাত বলিয়া ইহাকে **প্রাকৃতিক চুম্বক** (natural magnet) বলে।

প্রাকৃতিক চুম্বকের বিশেষ কোন আকার থাকে না এবং ইহার চুম্বকত্ব খুব শক্তিশালী নয়। কয়েকটি বিশেষ প্রক্রিয়ার সাহায্যে কিছু কিছু ধাতব



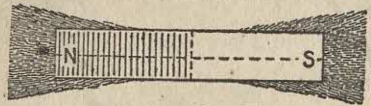
চিত্র 1.1

পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করা যায়, অষ্টম শ্রেণীতে তোমরা এসম্বন্ধে বিস্তারিত জ্ঞানলাভ করিয়াছ। এই ধাতব পদার্থগুলি চুম্বকদ্বারা আকৃষ্ট হয় বলিয়া ইহাদের **চৌম্বক পদার্থ** বলে এবং ইহাদের দ্বারা সৃষ্ট চুম্বককে **কৃত্রিম চুম্বক** (artificial magnet) বলে। যে সব পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয় না তাহাদের **অচৌম্বক পদার্থ** বলে। কৃত্রিম চুম্বক বিভিন্ন আকৃতির হয় এবং

ইহাদের চুম্বকত্ব বেশ শক্তিশালী। চিত্রে (চিত্র 1.1) বিভিন্ন আকৃতির কৃত্রিম চুম্বক দেখান হইল।

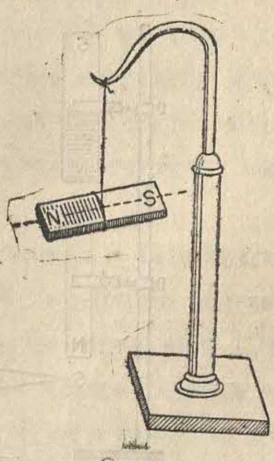
1.1a. চুম্বকের সাধারণ গুণাবলীর কয়েকটি পরীক্ষা (Some demonstrations of the general properties of a magnet) :

(i) একটি দণ্ডচুম্বক লইয়া ইহাকে লৌহচূর্ণে ডোবাও। দেখিবে ইহার গাত্রে প্রচুর লৌহচূর্ণ লাগিয়া রহিল এবং ইহার প্রান্তদ্বয়েই লৌহচূর্ণের পরিমাণ বেশী (চিত্র 1.2)। ইহার অর্থ চুম্বকের প্রান্তদ্বয়েই ইহার আকর্ষণী ক্ষমতা সর্বাপেক্ষা বেশী। প্রান্তদ্বয়ের যে অংশে এই আকর্ষণী ক্ষমতা সবচেয়ে বেশী সেই দুই স্থানকে চুম্বকের **মেরু** (pole) বলে। যে কোন চুম্বকেরই এইরূপ মেরু থাকে।



চিত্র 1.2

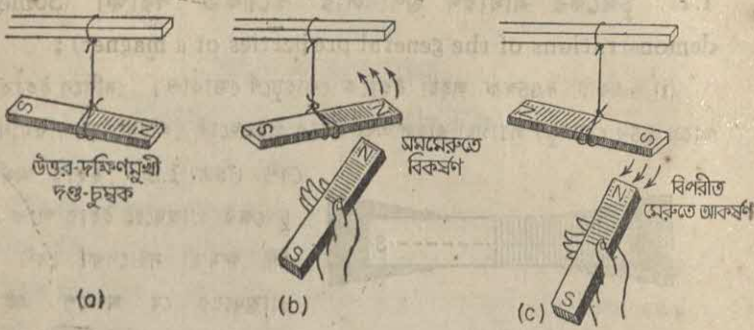
(ii) একটি দণ্ডচুম্বককে একটি পাকহীন সূতার সাহায্যে ঝুলাইয়া দিলে দেখা যাইবে যে চুম্বকটি কয়েকপাক ঘুরিয়া অবশেষে একটি বিশেষ দিকে লম্ব হইয়া রহিল (চিত্র 1.3)। দেখা যাইবে যে চুম্বকটির একমেরু উত্তর দিক এবং অন্য মেরু দক্ষিণ দিক নির্দেশ করিতেছে। উত্তর দিক নির্দেশকারী প্রান্তকে চুম্বকের **উত্তর মেরু** (N) এবং দক্ষিণ দিক নির্দেশকারী প্রান্তকে চুম্বকের **দক্ষিণ মেরু** (S) বলে। যে কোন চুম্বকের অন্ততঃ একটি উত্তর-মেরু এবং একটি দক্ষিণ মেরু থাকে।



চিত্র 1.3

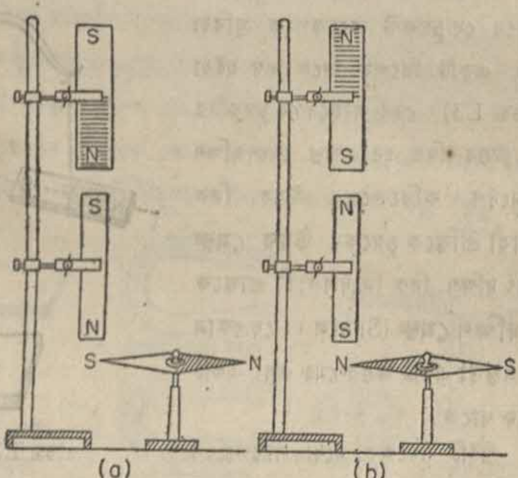
(iii) দুইটি চুম্বকের মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়া কিরূপ হয় তাহার পরীক্ষা করা যাক। দুইটি দণ্ডচুম্বক লইয়া একটিকে এক পাকহীন সূতার সাহায্যে ঝোলানো হইল। চুম্বকটি উত্তর দক্ষিণে স্থির হইয়া ঝুলিবে। এখন দ্বিতীয় চুম্বকটির উত্তর মেরু (N) ঝোলানো চুম্বকটির কাছে আনিলে দেখা যাইবে, ঝোলানো চুম্বকটির দক্ষিণ-মেরু দ্বিতীয় চুম্বকটির উত্তর মেরুর দিকে আকৃষ্ট হইতেছে (চিত্র 1.4c) এবং ঝোলানো চুম্বকটির উত্তর মেরু দ্বিতীয় চুম্বকটির উত্তর মেরুকর্তৃক বিকর্ষিত হইতেছে (চিত্র 1.4 b)।

ইহা হইতে প্রমাণিত হইল চুম্বকের বিপরীত মেরুর মধ্যে আকর্ষণ ও একই প্রকৃতির মেরুর মধ্যে বিকর্ষণ হয়।



চিত্র 1.4

(iv) একটি শক্তিশালী স্থায়ী দণ্ডচুম্বককে উল্লম্বভাবে আটকাইয়া রাখ (চিত্র 1.5)। একটি নরম লোহদণ্ড অনুরূপভাবে ইহার তলায় একটু তফাতে



চিত্র 1.5

আটকাও। এখন একটি চুম্বকশলাকা লোহদণ্ডের তলার প্রান্তের নিকটে আনিলে দেখা যাইবে যে চুম্বকশলাকাটির একটি মেরু লোহদণ্ডটির নিম্নপ্রান্ত কর্তৃক আকর্ষিত হইবে এবং অন্য মেরুটি বিকর্ষিত হইবে। দণ্ডচুম্বকটির উত্তর মেরু তলার দিকে এবং দক্ষিণ মেরু উপরের দিকে থাকিলে চুম্বকশলাকাটির দক্ষিণ-মেরু লোহদণ্ডটির নিম্নপ্রান্ত কর্তৃক আকর্ষিত হইবে এবং উত্তর মেরু

বিকর্ষিত হইবে (চিত্র 1.5a)। দণ্ডচুম্বকটি উল্টাইয়া রাখিলে (চিত্র 1.5b) চুম্বকশলাকাটির উত্তর মেরু লৌহদণ্ডটির নিম্নপ্রান্ত কর্তৃক আকর্ষিত হইবে এবং দক্ষিণ-মেরু বিকর্ষিত হইবে।

এরূপ হওয়ার কারণ—লৌহদণ্ডটি একটি চৌম্বক পদার্থ বলিয়া দণ্ডচুম্বকের সান্নিধ্যে ইহাতে অস্থায়ী **আবিষ্ট চৌম্বকত্বের** (induced magnetism) সৃষ্টি হইয়াছে। ইহাকে **চৌম্বক আবেশ** (magnetic induction) বলে। আবেশের ফলে চৌম্বক পদার্থে সৃষ্ট চুম্বকত্বের মেরুর প্রকৃতি এরূপ হয়, যাহাতে ইহার যে প্রান্ত চুম্বকের নিকটে থাকে তাহাতে নিকটে অবস্থিত চুম্বক মেরুর বিপরীত মেরুর সৃষ্টি হয় এবং দূরের প্রান্তে সমমেরুর সৃষ্টি হয়।

দণ্ডচুম্বকটি সরাইয়া লইলে অবশ্য লৌহদণ্ডটি তাহার অস্থায়ী চুম্বকত্ব হারাইয়া ফেলে এবং তখন সাধারণ নিয়মে চুম্বকশলাকার উভয় মেরুই লৌহদণ্ডটিকে আকর্ষণ করিবে।

1.2. পৃথিবী একটি চুম্বক (Earth is a magnet) :

তোমরা জান, মুক্ত অবস্থায় ঝোলানো কোন দণ্ডচুম্বক বা চুম্বকশলাকা সর্বদা উত্তর-দক্ষিণদিকে লম্বা হইয়া থাকে। স্বভাবতঃই মনে হইতে পারে, কোন অদৃশ্য শক্তি যেন চুম্বকের এক মেরুকে উত্তরদিকে ও অন্য মেরুকে দক্ষিণদিকে টানিতেছে। একমাত্র চুম্বকই অন্য কোন চুম্বককে প্রভাবিত করিতে পারে। পাশাপাশি অন্য কোন চুম্বক না থাকা সত্ত্বেও চুম্বকশলাকার এরূপ আচরণ ভূ-চৌম্বক প্রভাবের দরুণই ঘটিয়া থাকে।

সাধারণ চুম্বকের ন্যায় ভূ-চুম্বকেরও দুইটি মেরু আছে। ইহার উত্তরমেরু ভৌগোলিক দক্ষিণ-মেরুর সন্নিকটে এবং দক্ষিণ-মেরু ভৌগোলিক উত্তরমেরুর সন্নিকটে অবস্থিত। ইহার চৌম্বক অক্ষ ভৌগোলিক অক্ষের সহিত 11·5° কোণ করিয়া থাকে। মুক্ত অবস্থায় ঝোলানো দণ্ডচুম্বকের উত্তরমেরু ভূ-চুম্বকের দক্ষিণ-মেরুর আকর্ষণে পৃথিবীর উত্তরমুখী হইয়া থাকে। অনুরূপে, ইহার দক্ষিণ-মেরু পৃথিবীর দক্ষিণমুখী হইয়া থাকে।

1.3 চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic field) :

কোন স্থানে একটি চুম্বক রাখিলে ইহার প্রভাব ইহার চতুর্দিকে কিছুদূর পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে। ফলে, কোন চৌম্বক পদার্থ বা অন্যকোন চুম্বক প্রথমোক্ত চুম্বকের প্রভাব সীমার মধ্যে আসিলেই এই দুইয়ের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণজনিত প্রভাব পরিলক্ষিত হয়। **চুম্বকের চতুর্দিকে যতদূর পর্যন্ত উহার প্রভাব বিস্তৃত থাকে সেই স্থানকে চুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্র বলে।**

গাণিতিক নিয়মে কোন চুম্বকের প্রভাব ক্ষেত্রের সীমা অসীম (infinity), বাস্তবে কিন্তু কোন নির্দিষ্ট দূরত্বের বাইরে চুম্বকের আর কোন প্রভাব দৃষ্ট হয় না।

1.4 কুলম্বের নিয়ম (Coulomb's law) :

দুইটি চুম্বক মেরুর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের পরিমাণ কুলম্বের নিয়ম হইতে জানা যায়। ধরা যাক্‌, দুইটি চুম্বক মেরু পরস্পর হইতে r দূরে অবস্থিত এবং উহাদের মেরুশক্তি যথাক্রমে m_1 ও m_2 (চিত্র 1.6)। ইহারা সমমেরু হইলে পরস্পরের মধ্যে বিকর্ষণ এবং বিপরীত মেরু হইলে আকর্ষণ হইবে।



চিত্র 1.6

কুলম্বের নিয়মানুযায়ী, **এই আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল মেরুদ্বয়ের মেরু-শক্তির গুণফলের সমানুপাতিক এবং উহাদের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।**

অতএব, আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলকে F ধরিলে, কুলম্বের নিয়মানুসারে,

$F \propto m_1 m_2$, যখন r ধ্রুবক,

এবং $F \propto \frac{1}{r^2}$, যখন m_1 ও m_2 ধ্রুবক।

অর্থাৎ, $F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$ বা, $F = K\frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{1}{\mu}\ \frac{m_1 m_2}{r^2}$, যখন

$K = \frac{1}{\mu} =$ ধ্রুবক। μ-এর মান মেরুদ্বয়ের ভিতরকার মাধ্যমের উপর নির্ভর করে এবং ইহাকে মাধ্যমের **ভেদ্যতা** (permeability) বলে। বায়ুর ক্ষেত্রে ইহার মান 1 ধরা হয়।

1.5. একক শক্তির মেরু (Unit pole) :

উপরের সমীকরণ হইতে আমরা একক শক্তির মেরুর সংজ্ঞা পাইতে পারি। যখন $F = 1$ ডাইন, $\mu = 1$ (বায়ুমাধ্যমে), $r = 1$ সে. মি. এবং $m_1 = m_2$, তখন $m_1 = m_2 = 1$

অতএব, **দুইটি সমশক্তির মেরু বায়ুমাধ্যমে 1 সে. মি. দূরে থাকিয়া যদি পরস্পরের প্রতি 1 ডাইন বলপ্রয়োগ করে, তবে উহাদের যে-কোন মেরুর শক্তিকে একক শক্তির মেরু বলা হয়।**

একক শক্তির মেরুর এই সংজ্ঞা হইতে বায়ুতে m_1 ও m_2 শক্তিসম্পন্ন দুইটি মেরু পরস্পরের প্রতি যে বলপ্রয়োগ করিবে তাহা হইল, $F = \frac{m_1 m_2}{r^2}$

সি. জি. এস্.-পদ্ধতিতে, কোন মেরুর শক্তি 40 বলিলে ইহার অর্থ ঐ মেরু হইতে 1 সে. মি. দূরে রক্ষিত বায়ুতে একটি একক শক্তির মেরু 40 ডাইন আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল অনুভব করিবে।

1.6. চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য (Magnetic intensity) :

চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে উক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বলিতে একক শক্তির বিচ্ছিন্ন কোন উত্তর-মেরু সেই বিন্দুতে যে বল অনুভব করিবে তাহাকেই বুঝায়।

অতএব, m শক্তিসম্পন্ন চুম্বকমেরু হইতে বায়ুতে r দূরে কোন বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের পরিমাণ হইবে ঐ বিন্দুতে একক শক্তির উত্তর-মেরু রাখিলে উহা যে বল অনুভব করিবে তাহাই। 1.4 অনুচ্ছেদের সমীকরণ হইতে এই বলের মান,

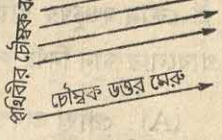
$F=\frac{m\times 1}{r^2}=\frac{m}{r^2}$ হইবে। ইহা সাধারণতঃ H অক্ষর দ্বারা সূচিত হয়। সি. জি. এস্.-পদ্ধতিতে ইহার একক **'ওয়স্টেড'** (Oersted) এবং ইহার মান 1 ডাইন/একক মেরু। পূর্বে প্রাবল্যের এককের নাম ছিল 'গস্' (Gauss)।

উপরি-উক্ত নিয়মে, কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে m' শক্তিসম্পন্ন চুম্বকমেরুর উপর ঐ ক্ষেত্র কর্তৃক প্রযুক্ত বল$=m'\times\frac{m}{r^2}=m'H=$ চুম্বকমেরুর শক্তি × ক্ষেত্রের প্রাবল্য।

বলাবাহুল্য, চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য একটি ভেক্টর রাশি—কারণ ইহার মান ও অভিমুখ দুই-ই আছে।

1.6a. সমবল চৌম্বক ক্ষেত্র (Uniform magnetic field) :

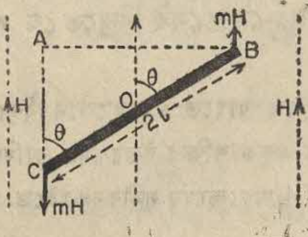
কোন চৌম্বকক্ষেত্রের প্রত্যেক বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের মান সমান এবং অভিমুখ একই হইলে উহাকে **সমবল** চৌম্বক ক্ষেত্র বলে। পৃথিবীপৃষ্ঠে কোন চুম্বকশলাকা বসাইয়া বলের অভিমুখ লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে উহারা সমান্তরাল (চিত্র 1.7)। ইহার কারণ ভূ-চুম্বকের মেরুদ্বয় পরস্পর হইতে বহুদূরে অবস্থিত বলিয়া ইহার বলরেখাগুলি সব সমান্তরাল। আরও পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যে, কোন সীমাবদ্ধ স্থানে এই বলসমূহের মান সমান। অতএব ভূ-চুম্বক সমবল চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে।



চিত্র 1.7

1.6b. সমবল চৌম্বক ক্ষেত্রে মুক্ত অবস্থায় ঝুলানো চুম্বক : চৌম্বক-ভ্রামক (A freely suspended magnet in a uniform magnetic field : Magnetic moment) :

ধরা যাক্, m মেরুশক্তি ও $2l$ কার্যকর দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট (দুই মেরুর মধ্যকার দূরত্ব) একটি দণ্ডচুম্বক মুক্ত অবস্থায় H সমবল চৌম্বক ক্ষেত্রে ঝুলানো আছে। এই অবস্থায় চুম্বকটি H-এর অভিমুখে মুখ করিয়া স্থির থাকিবে। এখন চুম্বকটিকে θ কোণে ঘুরাইয়া দেওয়া হইল (চিত্র 1.8)। ইহাতে চুম্বকটির উভয় মেরুতে mH মাপের দুইটি বিপরীতমুখী সমান ও সমান্তরাল বল ক্রিয়া করিবে (চিত্র 1.8) এবং এই দুই বল একটি দ্বন্দ্ব (Couple) গঠন করিয়া চুম্বকটিকে পুনরায় H-এর অভিমুখে আনিবার চেষ্টা করিবে।



চিত্র 1.8

এই দ্বন্দ্বের ভ্রামক = বল × উভয়ের মধ্যে লম্বদূরত্ব

$$= mH \times AB = mH \times 2l \sin\theta$$
$$= MH \sin\theta$$

এখানে $M = m \times 2l$ = মেরুশক্তি × কার্যকর দৈর্ঘ্য। এই M-কে **চৌম্বক-ভ্রামক** (magnetic moment) বলা হয়। যদি $H=1$, $\theta=90°$ হয়, তবে ভ্রামক $=M$ অর্থাৎ, কোন চুম্বককে একক প্রাবল্যবিশিষ্ট সমবল চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সহিত সমকোণে স্থাপিত করিতে যে যান্ত্রিক দ্বন্দ্বের প্রয়োজন হয় তাহার ভ্রামককে ঐ চুম্বকের **চৌম্বক-ভ্রামক** বলা হয়।

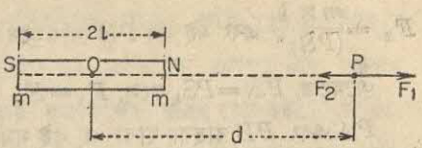
1.6c. দণ্ডচুম্বকের দরুণ চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য (Intensity of a magnetic field due to a bar magnet) :

কোন দণ্ডচুম্বক দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের দুইটি বিশেষ অবস্থানে ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান নির্ণয় করা যাক্।

(A) **প্রান্ত অবস্থান** (End-on position) :

চিত্রে (চিত্র 1.9) NS একটি দণ্ডচুম্বক। ইহার দুই মেরু S ও N-এর মধ্যকার দূরত্ব $2l$ এবং ইহার মেরুশক্তি m। ইহার মধ্যবিন্দু O হইতে অক্ষ-

বরাবর d দূরত্বে একটি বিন্দু P লওয়া হইল। দণ্ডচুম্বকের উভয় মেরুর দরুণ P বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের মান নির্ণয় করিতে হইবে। চৌম্বক প্রাবল্যের সংজ্ঞা হইতে, P বিন্দুতে স্থাপিত একক উত্তর মেরুর উপর দণ্ডচুম্বকের N মেরু কর্তৃক প্রযুক্ত বিকর্ষণ বল,



চিত্র 1.9

$$F_1=\frac{m\times 1}{(NP)^2}=\frac{m}{(d-l)^2}, \text{ (কারণ } ON=l),$$

এবং ইহার উপর দণ্ডচুম্বকের S-মেরু কর্তৃক প্রযুক্ত আকর্ষণ বল,

$$F_2=\frac{m\times 1}{(SP)^2}=\frac{m}{(d+l)^2}\text{ ।}$$

এই দুই বল পরস্পর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে এবং S-মেরু অপেক্ষা N-মেরু P-এর নিকটবর্তী। অতএব, $F_1>F_2$।

$$\therefore \text{ } P \text{ বিন্দুতে লব্ধ বল, } F=F_1-F_2$$

$$=\frac{m}{(d-l)^2}-\frac{m}{(d+l)^2}$$

$$=\frac{4mld}{(d^2-l^2)^2}=\frac{2M.d}{(d^2-l^2)^2}$$

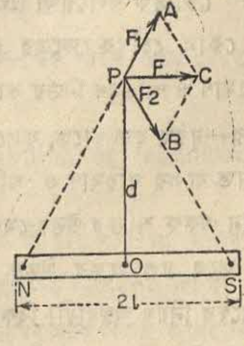
(এখানে $M=2ml=$চুম্বকের চৌম্বক-ভ্রামক)।

যদি $d>>l$, অর্থাৎ দণ্ডচুম্বক খুব ছোট এবং P বিন্দু বেশ দূরে হয়, তবে d^2-এর তুলনায় l^2 খুব ছোট বলিয়া উপেক্ষা করা যাইতে পারে। সেক্ষেত্রে, $F=\frac{2M.d}{d^4}=\frac{2M}{d^3}$।

ইহাই P বিন্দুতে প্রাবল্যের নির্ণেয় মান।

(B) **পার্শ্ব অবস্থান** (Broad-side on position) :

এক্ষেত্রে P বিন্দুটি দণ্ডচুম্বকের (NS) মধ্যবিন্দু O দিয়া ইহার অক্ষের উপর অঙ্কিত অভিলম্বের উপর O হইতে d দূরত্বে অবস্থিত (চিত্র 1.10)। এই অবস্থায় P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করিতে হইবে। এই অবস্থানে রক্ষিত একক উত্তর-মেরুর উপর দণ্ডচুম্বকের N-মেরু কর্তৃক বিকর্ষণ-বল, $F_1=\frac{m\times 1}{(PN)^2}$ এবং ইহা PA অভিমুখে ক্রিয়া করে।



চিত্র 1.10

অনুরূপে, ইহার উপর দণ্ডচুম্বকের S-মেরু কর্তৃক প্রযুক্ত আকর্ষণ-বল,

$F_2 = \frac{m \times 1}{(PS)^2}$ এবং এই বল PB অভিমুখে ক্রিয়া করে।

এক্ষেত্রে, $PN = PS$, ফলে, $F_1 = F_2$

PA এবং PB বাহুদ্বয় দ্বারা এই দুই সমান বলকে প্রকাশ করিলে $PACB$ সামন্তরিকের কর্ণ, PC লব্ধবল, F-কে প্রকাশ করিবে।

এখন, APC ও PNS ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ হওয়ায়,

$$\frac{PC}{PA} = \frac{NS}{PN}, \text{ বা } \frac{F}{m/(PN)^2} = \frac{2l}{PN},$$

$$\therefore \quad F = \frac{2ml}{(PN)^3} = \frac{M}{(PN)^3}, \ (M = 2ml = \text{চৌম্বক-ভ্রামক})।$$

এখন, $(PN)^3 = (d^2 + l^2)^{3/2}$,

$$\therefore \quad F = \frac{M}{(d^2 + l^2)^{3/2}}$$

পূর্বের মত, $d >> l$ হইলে d^2-এর তুলনায় l^2 উপেক্ষণীয়

$$\therefore \quad F = \frac{M}{(d^2)^{3/2}} = \frac{M}{d^3}$$

ইহাই P বিন্দুতে এই অবস্থানে নির্ণেয় প্রাবল্যের মান।

(A) ও (B) অবস্থানে প্রাবল্যের মান তুলনা করিলে দেখা যায় যে, প্রান্ত অবস্থানে প্রাবল্যের মান সমদূরে পার্শ্ব অবস্থানে প্রাবল্যের মানের দ্বিগুণ হয়।

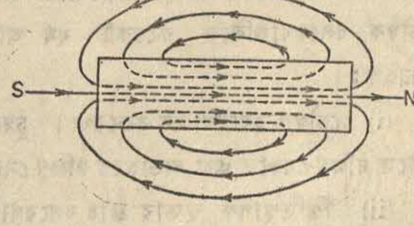
1.7 চৌম্বক বলরেখা (Magnetic lines of force) :

কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন নির্দিষ্ট বিন্দুতে উক্ত ক্ষেত্রের প্রাবল্যের পরিমাণ ও অভিমুখ নির্ভর করে চুম্বক হইতে ঐ বিন্দুর দূরত্ব এবং অবস্থান-এর উপর—দূরত্ব যত বাড়ে, কুলম্বের নিয়মে প্রাবল্য তত কমে। ফলে প্রাবল্য-জনিত বলের পরিমাণ ও অভিমুখ বিভিন্ন বিন্দুতে বিভিন্ন হয়। এখন যদি কোন একক শক্তির উত্তর-মেরু কোন দণ্ডচুম্বকের উত্তর মেরুর কাছে আনা হয় তবে দণ্ডচুম্বকের উত্তর মেরু একক শক্তির মেরুকে এক নির্দিষ্ট বলে (কুলম্বের নিয়ম অনুযায়ী) বিকর্ষণ করিবে এবং ইহাকে দণ্ডচুম্বকের দক্ষিণ-মেরুর কাছে লইয়া গেলে একই নিয়মে সমান বলে ইহাকে আকর্ষণ করিবে (কারণ মেরুদ্বয়ের শক্তির পরিমাণ সমান হয়)। একক মেরুর যে-কোন অবস্থানে দণ্ডচুম্বকের উভয় মেরুই একই সঙ্গে ইহার উপর আকর্ষণ ও বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করিবে। ফলে, মেরুটি তখন উক্ত দুই বলের লব্ধবলের (resultant force)

অভিমুখে সরিয়া যাইবে। নতুন অবস্থানে উক্ত দুই বলের প্রভাব ক্রিয়া করিবে এবং লব্ধবলের অভিমুখে পরিবর্তিত হইবে। ফলে, মেরুটি পুনরায় অভিমুখ পরিবর্তন করিয়া সরিয়া যাইবে। এইভাবে ক্রমশঃ এক বক্রপথ অবলম্বন করিয়া একক উত্তর মেরুটি দণ্ডচুম্বকের উত্তর মেরু হইতে সরিয়া দক্ষিণ-মেরুর নিকট উপস্থিত হইবে। অতএব, বোঝা যাইতেছে যে কোন চৌম্বকক্ষেত্রের চৌম্বকবল একটি নির্দিষ্ট বক্ররেখা বরাবর ক্রিয়া করে। এই বক্ররেখাকেই দণ্ডচুম্বকের **বলরেখা** (lines of force) বলে।

সংজ্ঞা : কোন চুম্বকের চৌম্বক বলরেখা বলিলে এমন রেখা বুঝায় যে-রেখা-বরাবর কোন বাধাহীন বিচ্ছিন্ন একক উত্তর-মেরু গমন করে এবং উক্ত রেখার যে কোন বিন্দুতে স্পর্শক (tangent) টানিলে উক্ত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে লব্ধ চৌম্বক বলের অভিমুখ নির্দেশ করে।

এই বলরেখার অভিমুখ হিসাবে সাধারণতঃ উত্তর-মেরু যে দিকে গমন করে তাহাই বলরেখার অভিমুখ হিসাবে ধরা হয় এবং ইহা তীর-চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয় (চিত্র 1.11)। এই বলরেখাগুলি বিচ্ছিন্ন প্রকৃতির নয়—বদ্ধ প্রকৃতির। কারণ, চুম্বকের ভিতরেও এই বলরেখাগুলি চলিয়া যায় এবং চুম্বকের অভ্যন্তরে ইহাদের গতি দক্ষিণ-মেরু হইতে উত্তর-মেরুর দিকে (চিত্র 1.11)।

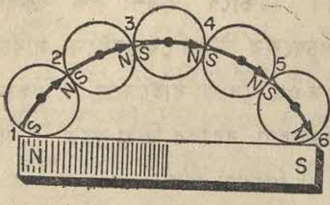


চিত্র 1.11

1.7a. চৌম্বক বলরেখা অঙ্কন-পদ্ধতি (Mapping of magnetic lines of force) :

বাস্তবক্ষেত্রে কোন বিচ্ছিন্ন একক উত্তর মেরু পাওয়া যায় না বলিয়া চৌম্বক বলরেখা অঙ্কন করিতে একটি ছোট চুম্বকশলাকার সাহায্য লওয়া হয়। কোন দণ্ডচুম্বকের বলরেখা অঙ্কন করিতে হইলে দণ্ডচুম্বকটিকে একটি কাগজের উপর রাখিয়া চুম্বক শলাকাটি ইহার উত্তর মেরুর নিকটে বসাও। লক্ষ্য রাখিবে, কাছাকাছি যেন অন্য কোন চুম্বক না থাকে। এই অবস্থায় শলাকাটির দক্ষিণ-মেরু দণ্ডচুম্বকের উত্তর মেরুর সন্নিকটে থাকিবে। এখন শলাকাটির দুইপ্রান্তে দুইটি পেন্সিলের দাগ দাও (চিত্র 1.12)। অতঃপর শলাকাটি সরাইয়া

ইহার দক্ষিণ-মেরু পূর্বাবস্থায় উত্তর মেরুর সাথে মিলাইয়া রাখ এবং পুনরায় ইহার উত্তর মেরুর অবস্থান চিহ্নিত কর। এইভাবে শলাকাটিকে সরাইয়া সরাইয়া দণ্ডচুম্বকের দক্ষিণ-মেরু প্রান্তে পৌছানো যাইবে। এখন দণ্ডচুম্বকটির বহিঃরেখা পেন্সিল দ্বারা চিহ্নিত কর এবং দণ্ডচুম্বককে সরাইয়া পূর্বাঙ্কিত চিহ্নগুলি যোগ কর। চিহ্নগুলির মধ্য দিয়া অঙ্কিত বক্ররেখাই দণ্ডচুম্বকের এক চৌম্বক বলরেখা। চুম্বকশলাকাটি অনুরূপে বিভিন্ন স্থানে বসাইয়া একই পদ্ধতিতে একাধিক বলরেখা অঙ্কন করা যায়।



চিত্র 1.12

1.7b চৌম্বক বলরেখার ধর্ম (Properties of magnetic lines of force) :

বিভিন্ন চৌম্বক ঘটনাবলীর ব্যাখ্যার সুবিধার জন্য মাইকেল ফ্যারাডে চৌম্বক বলরেখাগুলিতে কয়েকটি ধর্ম আরোপিত করিয়াছেন। ইহারা নিম্নরূপ :

(i) চৌম্বক বলরেখা বদ্ধ বক্ররেখা। চুম্বকের বাহিরে ইহারা উত্তর মেরু হইতে দক্ষিণ-মেরুতে এবং অভ্যন্তরে দক্ষিণ-মেরু হইতে উত্তর-মেরুতে যায়।

(ii) স্থিতিস্থাপক সুতার ন্যায় বলরেখাগুলি দৈর্ঘ্য বরাবর সঙ্কুচিত হইয়া থাকে এবং দৈর্ঘ্যের অভিলম্ব দিকে পরস্পরের উপর পার্শ্বচাপ (lateral pressure) দেয়।

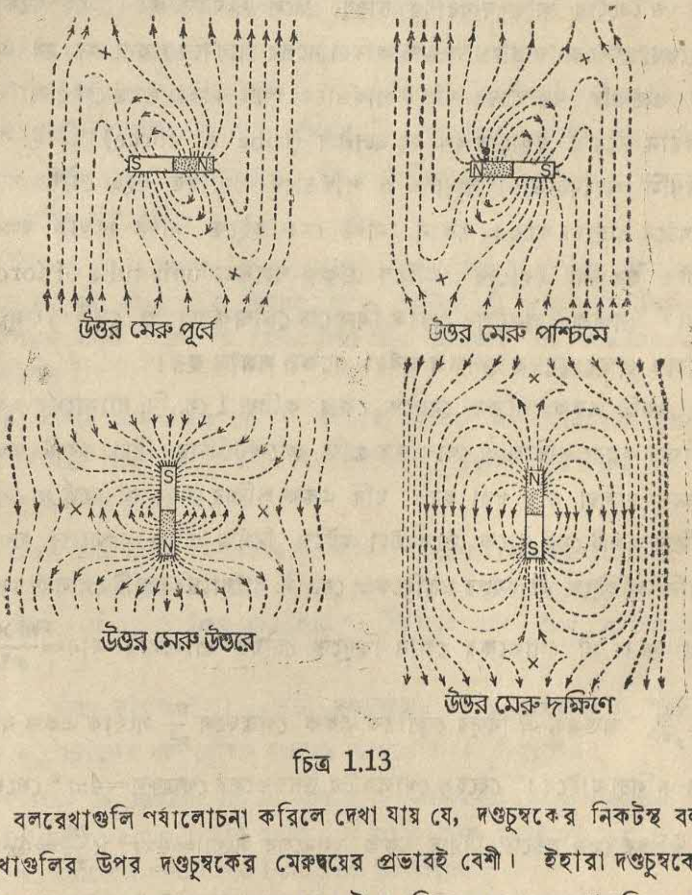
(iii) দুইটি বলরেখা কখনো পরস্পরকে ছেদ করে না। ছেদ করিলে ছেদ বিন্দুতে বলরেখাদ্বয়ের উপর দুইটি বিভিন্ন দিকে দুইটি স্পর্শক টানা যাইবে এবং ঐ স্পর্শকদ্বয়ের ছেদবিন্দুতে দুইটি স্পর্শকের অভিমুখে দুইটি লব্ধি বল সৃষ্টি হইবে। কিন্তু একই বিন্দুতে লব্ধ বলের দুইটি অভিমুখ থাকিতে পারে না—কাজেই দুইটি বলরেখা পরস্পর ছেদ করিতে পারে না।

(iv) উত্তর-মেরু হইতে চৌম্বক-বলরেখা চুম্বকপৃষ্ঠের সহিত লম্বভাবে বাহির হয় এবং দক্ষিণ-মেরুতে চুম্বকপৃষ্ঠের সহিত লম্বভাবে চুম্বকে প্রবেশ করে।

1.7c. ভূ-চুম্বক ও দণ্ডচুম্বক সম্মিলিত বলরেখা (Lines of force due to a bar magnet and earth's magnetic field) :

কোন স্থায়ী চুম্বকের নিকটস্থ বলরেখাসমূহ প্রধানতঃ চুম্বকের মেরুর ক্রিয়ার

ফলে সৃষ্ট হয়। চুম্বকের বলরেখাসমূহ বাস্তবে চুম্বক ও ভূ-চুম্বকের লব্ধি ক্রিয়ার ফলে সৃষ্ট হয়। ফলে দণ্ডচুম্বকের কাছাকাছি কোন চুম্বকশলাকা থাকিলে ইহার উপর দণ্ডচুম্বক ও ভূ-চুম্বক উভয়েরই প্রভাব পড়ে। কোন চুম্বক শলাকার সাহায্যে বলরেখাগুলি অঙ্কন করিলে দণ্ডচুম্বকের অক্ষের অভিমুখ অনুযায়ী বলরেখাগুলির প্রকৃতি বিভিন্ন ধরনের হয়। নিচে দণ্ডচুম্বকের কয়েকটি বিভিন্ন অবস্থানে বলরেখাগুলির প্রকৃতি চিত্রের সাহায্যে (চিত্র 1.13) দেখানো হইল।



চিত্র 1.13

বলরেখাগুলি পর্যালোচনা করিলে দেখা যায় যে, দণ্ডচুম্বকের নিকটস্থ বল-রেখাগুলির উপর দণ্ডচুম্বকের মেরুদ্বয়ের প্রভাবই বেশী। ইহারা দণ্ডচুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখা। দণ্ডচুম্বক হইতে কিছুদূরের বলরেখাগুলি প্রায় সোজা ও দণ্ডচুম্বকের অক্ষের সমান্তরাল। ইহারা ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখা। ইহাছাড়া, দণ্ডচুম্বকের কেন্দ্র হইতে উভয় পার্শ্বে সমান দূরত্বে X চিহ্নিত স্থানে কোন অক্ষরেখা দেখা যায় না। ঐ দুইটি বিন্দুকে **উদাসীন বিন্দু** (neutral points) বলে। এই দুইটি বিন্দুতে কোন বলরেখা না থাকার কারণ ঐ

স্থানে ভূ-চুম্বকের দরুণ অনুভূমিক বল ও দণ্ডচুম্বকের দরুণ বল পরস্পরের সমান ও বিপরীত। ফলে, ঐ স্থানে কোন চৌম্বক প্রাবল্য থাকে না। ঐ স্থানে কোন চুম্বকশলাকা রাখিলে উহা যে-কোন দিকে মুখ করিয়া থাকে।

1.7d. বলনল (Tube of force) :

বিজ্ঞানী ফ্যারাডের মতে চৌম্বক ঘটনা চৌম্বক বলরেখার দৈর্ঘ্য-বরাবর টান ও দৈর্ঘ্যের অভিলম্ব-বরাবর চাপের ফলে সংঘটিত হয়। এই উদ্দেশ্যে বলরেখাগুলিকে কতকগুলি গুচ্ছ করিয়া নলের আকারে কল্পনা করা হয় এবং এই গুচ্ছগুলি পরস্পরের সহিত পার্শ্বভাবে স্পর্শ করিয়া সমস্ত ক্ষেত্র ব্যাপিয়া অবস্থান করে। ইহাদের বলা হয় **বলনল** (tube of force)। এই বল-নলগুলি অণুদৈর্ঘ্যভাবে সঙ্কুচিত ও পার্শ্বভাবে প্রসারিত হইয়া চৌম্বক ঘটনা সংঘটনে সাহায্য করে। কোন নির্দিষ্ট মেরু হইতে নির্দিষ্ট সংখ্যক বলনল নির্গত হয় এবং ইহাদের একটিকে **একক বলনল** (unit tube of force) বলে। **একক বলনলের কোন বিন্দুতে চৌম্বকবল ও সেই বিন্দুতে নলের প্রস্থচ্ছেদের গুণফল সর্বদা একের সমান হয়।**

একটি একক শক্তির মেরুকে কেন্দ্র করিয়া 1 সে. মি. ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা করিলে ঐ গোলকের প্রতি বর্গসেন্টিমিটার দিয়া একটি একক বলনল চলিয়া যায় ধরা হয়। যদি একক শক্তির মেরুর পরিবর্তে m মেরু-শক্তির একটি মেরু থাকে তবে উহা হইতে নির্গত একক বলনলের সংখ্যা জানিতে হইলে ঐ মেরুর চতুর্দিকে r সে. মি. ব্যাসার্ধের একটি গোলক কল্পনা করা হয়। ঐ গোলকের কোন বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের মান$=\frac{m\times 1}{r^2}=\frac{m}{r^2}$. অতএব, ঐ বিন্দুর চতুর্দিকে একক ক্ষেত্রফলে $\frac{m}{r^2}$ সংখ্যক একক বল-নল চলিয়া যাইবে। যেহেতু গোলকটির উপরতলের ক্ষেত্রফল$=4\pi r^2$ সেহেতু m শক্তির মেরু হইতে নির্গত একক বলনলের সংখ্যা$=4\pi r^2\times\frac{m}{r^2}=4\pi m$. এই সংখ্যক বলনল m শক্তির মেরুর N-প্রান্ত হইতে নির্গত হইয়া S-প্রান্তে প্রবেশ করিবে এবং চুম্বকের উপাদানের ভিতর দিয়া এই সংখ্যক বলনল S-মেরু হইতে N-মেরুতে ফিরিয়া যাইবে। অতএব, চুম্বকের নিজস্ব চুম্বকত্বের দরুন উহার উপাদানের ভিতর $4\pi m$ সংখ্যক বলনল অবস্থান করিবে। এই নিয়মে একক শক্তির মেরু হইতে 4π সংখ্যক একক বলনল নির্গত হইবে।

প্রশ্নাবলী

1. চুম্বক কি ? কয়েকটি পরীক্ষার সাহায্যে চুম্বকের সাধারণ গুণাবলী-সমূহের ব্যাখ্যা কর।

[What are magnets ? Explain the general properties of a magnet with some experiments.]

2. চৌম্বক ক্ষেত্র বলিতে কি বোঝায় ? কুলম্বের নিয়ম কি ? ইহার সাহায্যে কিভাবে একক শক্তির মেরুর সংজ্ঞা পাওয়া যায় ?

[What is a magnetic field ? What is Coulomb's law ? How is unit magnetic pole defined from Coulomb's law ?]

3. চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য বলিতে কি বোঝায় ? চৌম্বক প্রাবল্যের প্রকৃতি কিরূপ ? চৌম্বক বলরেখা কি এবং কিভাবে ইহা চৌম্বক প্রাবল্যের স্বরূপ নির্দেশ করে ?

[What is meant by magnetic intensity ? What is the measure of magnetic intensity ? What is magnetic lines of force and how it indicates the nature of magnetic intensity ?]

4. কোন দণ্ডচুম্বকের চৌম্বক বলরেখা কিভাবে অঙ্কন করিবে ? দণ্ড-চুম্বকের বিভিন্ন অবস্থানে কিভাবে বলরেখাগুলির প্রকৃতি পরিবর্তিত হয় ? উদাসীন বিন্দু কি ?

[How the lines of force of a bar magnet can be drawn ? How the nature of the lines of force changes with the position of the bar magnet ? What are the neutral points ?]

5. চৌম্বক-ভ্রামক কি ? কোন দণ্ডচুম্বকের প্রান্ত অবস্থানে ও পার্শ্ব-অবস্থানে দণ্ডচুম্বকের দরুণ চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।

[What is magnetic moment ? Calculate the intensity at a point in a magnetic field due to a bar magnet at the end-on position and broad-side on position.]

6. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি সম্বন্ধে নোট লেখ : (i) চৌম্বক আবেশ, (ii) চৌম্বক-ভ্রামক, (iii) চৌম্বক বলরেখা, (iv) উদাসীন বিন্দু, (v) বলনল।

[Write short notes on the following : (i) Magnetic induction, (ii) Magnetic moment, (iii) Magnetic lines of force, (iv) Neutral points, (v) Tube of force.]

দ্বিতীয় অধ্যায়

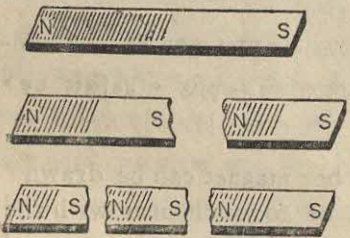
চুম্বকনের আণবিক তত্ত্ব ও চৌম্বক পদার্থের শ্রেণীবিভাগ

(Molecular theory of magnetism and Classification of magnetic materials)

2.1. আণবিক তত্ত্ব (Molecular theory) ঃ

কোন চৌম্বক পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করিলে ইহার আকৃতির বা ভৌত-ধর্মের কোন পরিবর্তন হয় না। কোন আভ্যন্তরীণ পরিবর্তনই চৌম্বক পদার্থের চুম্বকত্ব প্রাপ্তির অন্যতম কারণ। চৌম্বক পদার্থের এই আভ্যন্তরীণ পরিবর্তন আনবিক তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়।

প্রত্যেক চুম্বকেরই দুইপ্রান্তে দুইটি মেরু থাকে। কোন দণ্ড-চুম্বককে দু'টুকরা করিলে টুকরা দুইটির প্রত্যেকটিই এক একটি দুই মেরুবিশিষ্ট সম্পূর্ণ চুম্বক হয়। কোন চুম্বকশলাকার সাহায্যে সহজেই ইহা পরীক্ষা করা যায়। দণ্ডচুম্বকটি আরও টুকরা করিলে দেখা যাইবে যে, প্রত্যেক টুকরাই দুই মেরু বিশিষ্ট এক একটি সম্পূর্ণ চুম্বক (চিত্র 2.1)। এইভাবে ক্রমাগত ভাঙ্গিতে থাকিলে চুম্বকটির ক্ষুদ্রতম অংশও একটি সম্পূর্ণ চুম্বক হইবে। অর্থাৎ কোন চুম্বককে ভাঙ্গার সঙ্গেই ভাঙ্গা প্রান্তগুলিতে বিপরীত মেরুর সৃষ্টি হয়, ফলে কখনই চুম্বকের কোন বিচ্ছিন্ন মেরু পাওয়া যায় না।

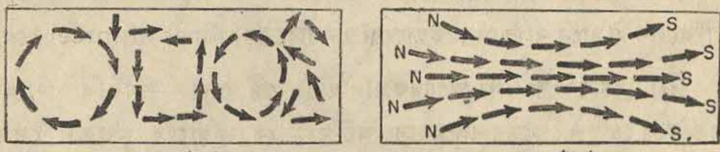


চিত্র 2.1

মেরুর এই অবিচ্ছিন্নতার পরীক্ষা হইতে জার্মান বিজ্ঞানী **ওয়েবার** (Weber) চুম্বকীয় তত্ত্ব হিসাবে আণবিক তত্ত্বের অবতারণা করেন। তাঁহার মতে কোন চুম্বককে ভাঙ্গিতে থাকিলে অবশেষে অণুতে পৌছানো যাইবে। ফলে, চুম্বকের প্রত্যেকটি অণুই পূর্ণাঙ্গ চুম্বক এবং এই অণুচুম্বকগুলিকে **ওয়েবার উপাদান** (Weber elements) বলে। এই নিয়মে চুম্বকত্ব হইল চৌম্বক পদার্থের আণবিক ধর্ম। চৌম্বক পদার্থ বা চুম্বক উভয়েই আণবিক চুম্বক দিয়ে গঠিত। এই দুইয়ের মধ্যে পার্থক্য হইল, চৌম্বক পদার্থে আণবিক চুম্বক বা ওয়েবার উপাদানগুলি এলোমেলোভাবে সাজানো থাকে। ফলে, সমান

শক্তিসম্পন্ন বিপরীত মেরুগুলির মধ্যে আকর্ষণ ও সমমেরুতে বিকর্ষণ হয় এবং সামগ্রিকভাবে চৌম্বক পদার্থ চৌম্বক নিরপেক্ষ থাকে।

পরবর্তীকালে, বিজ্ঞানী **এউইং** (Ewing) ওয়েবার উপাদানগুলির সজ্জা সম্বন্ধে এক স্বতন্ত্র ব্যাখ্যা দেন। তাঁহার মতে ওয়েবার উপাদানগুলি এলোমেলোভাবে না থাকিয়া একাধিক বদ্ধমুখ শৃঙ্খলের মত সাজানো থাকে (চিত্র 2.2a)। কেননা, সম্পূর্ণ এলোমেলোভাবে সাজানো থাকিলে কোন-না-কোন ওয়েবার উপাদানের মুক্ত মেরু থাকিয়া যাইতে পারে। ফলে, চৌম্বক পদার্থে কিছু-না-কিছু চুম্বক ধর্ম দেখাইবে। বাস্তবে কিন্তু সেরূপ কখনো হয় না। চৌম্বক পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করিলে, ঘর্ষণ বা বৈদ্যুতিক প্রণালী হইতে



(a) (b)

চিত্র 2.2

লব্ধ যান্ত্রিক শক্তি ওয়েবার উপাদানগুলিকে একইদিকে সাজাইয়া দেয় (চিত্র 2.2*b*)। ফলে, ইহার এক প্রান্তে সমস্ত উত্তরমেরু এবং অন্যপ্রান্তে সমস্ত দক্ষিণ-মেরুর সৃষ্টি হয়। ইহার ফলেই চুম্বকের কেবল দুইপ্রান্তে আকর্ষণ ও বিকর্ষণ হয়। মধ্যভাগে ঐ উপাদানগুলির উত্তর ও দক্ষিণমেরু মুখোমুখি থাকিয়া পরস্পরকে আকর্ষণ করিয়া থাকে এবং সেইজন্য চুম্বকের মধ্যভাগ অনেকটা চৌম্বক নিরপেক্ষ হয়। চুম্বকীয় প্রভাব অবশ্য চুম্বকের প্রান্তদ্বয় হইতে ভিতরদিকে কিছুদূর পর্যন্ত পরিলক্ষিত হয়। ইহার কারণ, চুম্বকের প্রান্তদ্বয়ে মুক্ত মেরুগুলির মধ্যে বিকর্ষণের ফলে প্রান্তদ্বয়ের ওয়েবার উপাদানগুলির সরলরৈখিক সজ্জা কিছুটা ব্যাহত হয়।

আধুনিক তত্ত্ব অনুযায়ী কোন চৌম্বক পদার্থে কতকগুলি আণবিক চুম্বক মিলিয়া এক একটি গোষ্ঠী বা **ডোমেন** (domain) গঠন করে। এই ডোমেনগুলির এক একটিকে মৌল চুম্বক বলে। চৌম্বক পদার্থ চুম্বকিত হইলে এই ডোমেনগুলি ঘুরিয়া পড়িয়া সজ্জিত হইয়া যায়।

উপরি-উক্ত আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে অধিকাংশ চুম্বকীয় ঘটনার ব্যাখ্যা করা যায়।

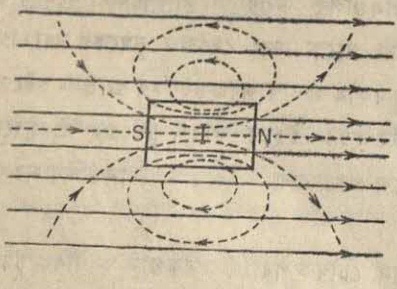
2.2. চৌম্বক ক্ষেত্রে চৌম্বক পদার্থের ধর্ম (Properties of magnetic materials in a magnetic field) :

আমরা জানি, কোন চৌম্বক পদার্থকে কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখিলে পদার্থটি সাময়িকভাবে চুম্বকে পরিণত হয় (প্রথম অধ্যায়)। চুম্বকত্ব লাভের এই পদ্ধতিকে **চৌম্বক আবেশ** (magnetic induction) বলে। কোন কাঁচা লোহদণ্ডকে কোন সমবল চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখে রাখিলে আবেশের ফলে লোহদণ্ডটি চুম্বকিত হয় এবং ইহার অভ্যন্তরে বলরেখার সংখ্যা বাড়িয়া যায়। কারণ চৌম্বকপদার্থের ভিতর তখন দুই প্রকারের বলনল (tube of force) দেখিতে পাওয়া যায় :

(*i*) আবেশ সৃষ্টিকারী চৌম্বক ক্ষেত্রের বলনল যেগুলি অচৌম্বক পদার্থ থাকিলেও ঐস্থানে থাকিবে ; ইহাদের শুধু **বলরেখা** (lines of force) বলে।

(*ii*) চৌম্বক পদার্থের অণুচুম্বকগুলি দ্বারা সৃষ্ট বলনল—যেগুলি পদার্থের অভ্যন্তরে চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখার অভিমুখী হয় ; ইহাদের **চুম্বকন রেখা** (lines of magnetisation) বলে।

ধরা যাক্, A প্রস্থচ্ছেদযুক্ত একটি কাঁচা লোহদণ্ড H-প্রাবল্যের একটি সমবল চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা আছে (চিত্র 2.3)। চৌম্বক ক্ষেত্রের দরুন যে কয়টি বলরেখা দণ্ড অতিক্রম করিবে তাহাদের সংখ্যা হইবে AH। ইহা ছাড়া চৌম্বক আবেশের ফলে দণ্ডের অভ্যন্তরে ও বাইরে কিছু বলরেখা সৃষ্টি হইবে।



চিত্র 2.3

চিত্রে টানা লাইন দ্বারা চুম্বকন ক্ষেত্রের বলরেখা ও কাটা লাইন দ্বারা চুম্বকন রেখা দেখানো হইয়াছে। চৌম্বক পদার্থের অভ্যন্তরে উভয় ধরনের রেখা প্রায় পাশাপাশি এবং সমমুখী ; এই সম্মিলিত বলরেখাকে **আবেশ রেখা** (lines of induction) বলে। কিন্তু চৌম্বক পদার্থের বাইরে বায়ুতে বলরেখা ও চুম্বকন রেখা পরস্পরের প্রায় বিপরীতমুখী (চিত্র 2.3)। চৌম্বক পদার্থের ভিতরে বলরেখাগুলি খুব ঘন সন্নিবিষ্ট হওয়ায় চৌম্বক প্রাবল্য বৃদ্ধি পাইবে—কিন্তু বাইরে বলরেখাগুলি কম ঘন হইবে এবং ক্ষেত্র প্রাবল্য হ্রাস পাইবে।

এখন আবিষ্ট চুম্বকত্বের ফলে চুম্বকের মেরুশক্তি যদি m হয় তবে ইহা হইতে নির্গত একক বলনলের সংখ্যা হইবে $4\pi m$ (প্রথম অধ্যায়, অনুচ্ছেদ 1.7d)। অতএব, প্রতি একক ক্ষেত্রফল দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা $=\frac{4\pi m}{A}=4\pi I$। এখানে I-কে **চুম্বকনের পরিমাত্রা** (intensity of magnetisation) বলে। ইহা চুম্বকের প্রতি একক প্রস্থচ্ছেদে মেরুশক্তির বা একক আয়তনে চৌম্বক-ভ্রামকের মানের সমান। অনুরূপে, বাহিরের চৌম্বকক্ষেত্র কর্তৃক চৌম্বক পদার্থের প্রতি একক ক্ষেত্রফল দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখা$=\frac{AH}{A}=H$

অতএব, উভয়ের দরুন প্রতি একক ক্ষেত্রফল দিয়া অতিক্রান্ত মোট বলরেখা $=H+4\pi I$। ইহাকে আবেশ রেখা B বলিলে, $B=H+4\pi I$।

B-কে সাধারণত **চৌম্বক আবেশ** (magnetic induction) বলা হয়।

2.2a. চৌম্বক ভেদ্যতা ও চৌম্বক গ্রাহীতা (Magnetic permeability and susceptibility) :

H--প্রাবল্যের কোন চৌম্বকক্ষেত্রে রক্ষিত কোন চৌম্বক পদার্থের আবেশ, B হইলে এই দুইয়ের অনুপাত $\frac{B}{H}$-কে **চৌম্বক ভেদ্যতা** বা μ বলে। অর্থাৎ $\mu=\frac{B}{H}$।

অতএব, কোন মাধ্যমের চৌম্বক ভেদ্যতা বলিতে একক চৌম্বকক্ষেত্রে ঐ মাধ্যমে যে চৌম্বক আবেশ সৃষ্টি হয় তাহাকে বোঝায়। মাধ্যমের চৌম্বক ভেদ্যতা যত বেশী ইহার চৌম্বক বলরেখা পরিবহন করিবার ক্ষমতা তত বেশী।

চৌম্বকক্ষেত্রে রক্ষিত কোন চৌম্বক পদার্থের আবিষ্ট চুম্বকনের পরিমাত্রা I এবং আবেশকারী চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য, H হইলে, ইহাদের অনুপাত, $\frac{I}{H}$-কে মাধ্যমের **চৌম্বক গ্রাহীতা** বা K বলে। অর্থাৎ $K=\frac{I}{H}$।

অতএব চৌম্বকগ্রাহীতা অর্থে একক চৌম্বকক্ষেত্র কর্তৃক আবিষ্ট চুম্বকনের পরিমাত্রাকে বুঝায়। কত সহজে পদার্থে চুম্বকত্ব আবিষ্ট করা হয় চৌম্বক গ্রাহীতা তাহাই নির্দেশ করে।

চৌম্বক ভেদ্যতা ও চৌম্বকগ্রাহীতার মধ্যে সম্পর্ক :

আমরা জানি, $B=H+4\pi I$

$$\text{বা } \frac{B}{H} = 1 + 4\pi \frac{I}{H}$$

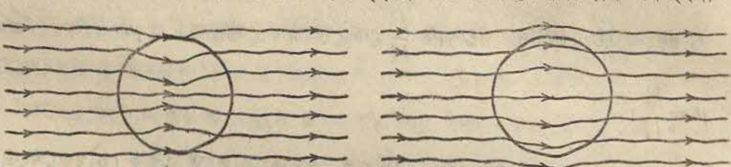
$$\text{বা } \mu = 1 + 4\pi K$$

ইহাই চৌম্বকভেদ্যতা (μ) ও চৌম্বকগ্রাহীতা (K)-র সম্পর্কযুক্ত সমীকরণ।

2.3. পরা চৌম্বক, অয়শ্চৌম্বক ও তিরশ্চৌম্বক পদার্থ (Para, Ferro, and dia-magnetic substances) :

বিভিন্ন চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক গ্রাহীতা ও ভেদ্যতার মানের তারতম্যে পদার্থসমূহকে তিনটি শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়। ইহারা হইল (*i*) **পরাচৌম্বক পদার্থ** (Paramagnetic Substances), (*ii*) **অয়শ্চৌম্বক পদার্থ** (Ferromagnetic Substances) এবং (*ii*) **তিরশ্চৌম্বক পদার্থ** (Diamagnetic Substances)। ইহাদের সম্বন্ধে এখন আলোচনা করিব।

(*i*) **পরা চৌম্বক পদার্থ :** যে সব পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা $\mu > 1$ এবং চৌম্বকগ্রাহীতা, $K \left(= \frac{\mu - 1}{4\pi}\right)$ ধনাত্মক কিন্তু নিম্নমানের তাহাদের পরা-চৌম্বক পদার্থ বলে। পরাচৌম্বক পদার্থ চুম্বক কর্তৃক আকর্ষিত হয় এবং চৌম্বক ক্ষেত্রে দুর্বলতর অংশ হইতে প্রবলতর অংশে গমন করে। তাছাড়া, চৌম্বকক্ষেত্রে পরা চৌম্বক পদার্থ রাখিলে বলরেখাগুলি ইহার অভ্যন্তরে বেশীমাত্রায় ঘন হইয়া



(a) (b)

চিত্র 2.4

পড়ে (চিত্র 2·4a)। ইহাকে স্বাধীনভাবে কোন চৌম্বকক্ষেত্রে ঝুলাইলে ইহার অক্ষ চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখী হইয়া পড়ে। পরাচুম্বকধর্মী পদার্থের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে উহার চৌম্বকগ্রাহীতা হ্রাস পায় অর্থাৎ তাপমাত্রা ও চৌম্বকগ্রাহীতা পরস্পর ব্যস্তানুপাতিক $\left(K \propto \frac{1}{T}\right)$। ইহাকে **কুরী সূত্র** (Curie's law) বলে। অবশেষে একটি নির্দিষ্ট উচ্চ তাপমাত্রায় (সংকট-তাপমাত্রা) ইহাদের চৌম্বকগ্রাহীতা ঋণাত্মক হয় এবং তখন ইহারা তিরশ্চৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়।

প্লাটিনাম, অ্যালুমিনিয়াম, তামা, ম্যাঙ্গানীজ, ক্রাউন কাচ, লৌহ ও অক্সিজেন ঘটিত লবণের দ্রবণ, বায়ু, অক্সিজেন প্রভৃতি পরাচৌম্বক পদার্থের উদাহরণ।

(ii) **অয়শ্চৌম্বক পদার্থ :** যে সকল পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা, $\mu >> 1$ এবং চৌম্বকগ্রাহীতা ধনাত্মক ও উচ্চমানের তাহাদের অয়শ্চৌম্বক পদার্থ বলে। অয়শ্চৌম্বক পদার্থে পরাচৌম্বক পদার্থের সকল গুণাবলীই বেশী মাত্রায় থাকে। ইহারা চুম্বকদ্বারা প্রবলভাবে আকৃষ্ট হয় এবং ইহাদের চুম্বকিত করা যায়। ইহারা কেলাসিত (crystalline) প্রকৃতির হয়। ইহারাও কুরী-সূত্র মানিয়া চলে এবং সংকট তাপমাত্রার উপরে পরাচৌম্বক পদার্থে রূপান্তরিত হয়। কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখাগুলি ইহাদের অভ্যন্তরে পরাচৌম্বক পদার্থ অপেক্ষা অধিকমাত্রায় ঘন হইয়া পড়ে।

লৌহ, ইস্পাত, কোবাল্ট, নিকেল এবং ইহাদের সংকর ধাতু অয়শ্চৌম্বক পদার্থের উদাহরণ। কোন তরল বা গ্যাসীয় পদার্থ অনিয়তাকার বলিয়া ইহারা কখনো অয়শ্চৌম্বক হইতে পারে না।

(iii) **তিরশ্চৌম্বক পদার্থ :** যে সকল পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা, $\mu < 1$ এবং চৌম্বকগ্রাহীতা ঋণাত্মক তাহাদের তিরশ্চৌম্বক পদার্থ বলে। ইহারা চুম্বকদ্বারা বিকর্ষিত হয় এবং চৌম্বকক্ষেত্রের প্রবল অংশ হইতে দুর্বল অংশে গমন করে। ইহারা চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে নিজেদের স্থাপিত করে। কোন চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখাগুলি ইহাদের এড়াইয়া যাইতে চেষ্টা করে (চিত্র 2.4b) অর্থাৎ ইহাদের ভিতর বলরেখাগুলির ঘনত্ব কমিয়া যায়। ইহাদের চৌম্বকগ্রাহীতা তাপমাত্রা বা চুম্বকক্ষেত্রের পরিবর্তনে পরিবর্তিত হয় না—স্থির থাকে, অর্থাৎ, ইহারা কুরী-সূত্র মানে না।

বিসমাথ্, অ্যান্টিমনি, ফসফরাস, তামা, অ্যালকোহল, পারদ, সোনা, হাইড্রোজেন, জল, দস্তা, রূপা প্রভৃতি তিরশ্চৌম্বক পদার্থের উদাহরণ।

প্রশ্নাবলী

1. আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে চুম্বকন-পদ্ধতির ব্যাখ্যা কর। কোন চুম্বকের এক বিচ্ছিন্ন মেরু পাওয়া যায় না কেন?

[Explain the process of magnetisation by molecular theory. Why a single pole cannot be separated from a magnet ?

2. ওয়েবার উপাদান কি? এউইং-এর চুম্বকন তত্ত্ব ব্যাখ্যা কর। চম্বকীয় ধর্ম চুম্বকের প্রান্তদ্বয়েই প্রবল হয় কেন?

[What are Weber elements ? Explain Ewing theory of megnetisation. Why the magnetic properties are strong only at the ends of a magnet ?

3. কোন চৌম্বকক্ষেত্রে কোন চৌম্বক পদার্থ রাখিলে ইহার অভ্যন্তরে ও বাইরে চৌম্বকক্ষেত্রের অবস্থা কিরূপ হয় দেখাও। ইহার অভ্যন্তরে চৌম্বক-প্রাবল্যের পরিমাণ নির্দেশকারী সমীকরণ নির্ণয় কর।

[Describe the nature of the magnetic field both inside and outside a magnetic material placed in a magnetic field. Also deduce the relation to measure the magnetic intensity inside the material.

4. চৌম্বক আবেশ কি ? কোন চৌম্বক-পদার্থের বেলায় প্রমাণ কর, $B=H+4\pi I$, প্রতীকগুলি প্রচলিত অর্থে ব্যবহৃত হইয়াছে।

[What is magnetic induction ? Prove that for a magnetic material, $B=H+4\pi I$, the symbols having usual meanings.

5. নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞাসহ ব্যাখ্যা কর :

(i) চুম্বকন পরিমাত্রা, (ii) চৌম্বক আবেশ

(iii) চৌম্বক ভেদ্যতা (iv) চৌম্বকগ্রাহীতা।

চৌম্বক ভেদ্যতা ও গ্রাহীতা মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

[Explain the following terms with definitions :

(i) Intensity of magnetisation (ii) Magnetic induction

(iii) Magnetic permeability (iv) Magnetic susceptibility.

Deduce the relation between magnetic permeability and susceptibility.]

6. পরাচৌম্বক, অয়শ্চৌম্বক ও তিরশ্চৌম্বক পদার্থগুলির মধ্যে পার্থক্য সংক্ষেপে বিবৃত কর ও প্রত্যেকের উদাহরণ দাও। কিভাবে ইহাদের চেনা যায় ?

[State briefly the distinction between the Para—, Ferro—and dia—magnetic substances. Also give examples of each and state how you can distinguish them.]

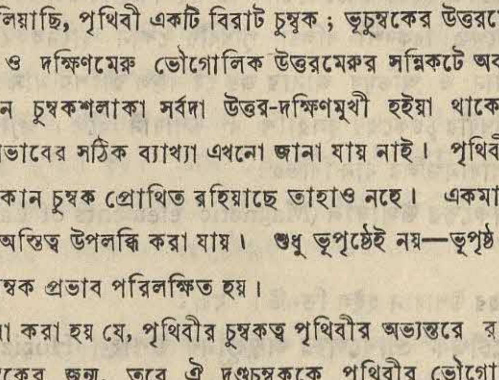
তৃতীয় অধ্যায়

ভু-চুম্বকত্ব (Terrestrial Magnetism)

3.1. পৃথিবী একটি চুম্বক (Earth as a magnet) :

পূর্বেই বলিয়াছি, পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক ; ভূচুম্বকের উত্তরমেরু ভৌগোলিক দক্ষিণ ও দক্ষিণমেরু ভৌগোলিক উত্তরমেরুর সন্নিকটে অবস্থিত। এই কারণেই কোন চুম্বকশলাকা সর্বদা উত্তর-দক্ষিণমুখী হইয়া থাকে। পৃথিবীর এই চৌম্বক প্রভাবের সঠিক ব্যাখ্যা এখনো জানা যায় নাই। পৃথিবীর অভ্যন্তরে যে কোথাও কোন চুম্বক প্রোথিত রহিয়াছে তাহাও নহে। একমাত্র পরীক্ষার ফলেই ইহার অস্তিত্ব উপলব্ধি করা যায়। শুধু ভূপৃষ্ঠেই নয়—ভূপৃষ্ঠ হইতে বহু উপরেও ভূচৌম্বক প্রভাব পরিলক্ষিত হয়।

যদি কল্পনা করা হয় যে, পৃথিবীর চুম্বকত্ব পৃথিবীর অভ্যন্তরে রক্ষিত কোন বিরাট দণ্ডচুম্বকের জন্য, তবে ঐ দণ্ডচুম্বককে পৃথিবীর ভৌগোলিক অক্ষের



চিত্র 3.1

সহিত 11·5° কোণ করিয়া স্থাপন করিতে হইবে এবং ইহার দক্ষিণমেরু (S) ভৌগোলিক উত্তরমেরু অভিমুখী ও উত্তরমেরু (N) ভৌগোলিক দক্ষিণমেরু অভিমুখী করিতে হইবে (চিত্র 3.1)। যেহেতু বিষমমেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে সেহেতু কোন চুম্বকশলাকার উত্তরমেরু ভূচুম্বকের দক্ষিণমেরু কর্তৃক আকর্ষিত হয় এবং ভৌগোলিক উত্তরমেরু অভিমুখী হইয়া থাকে। অনুরূপে,

ইহার দক্ষিণমেরু ভূচুম্বকের উত্তরমেরু কর্তৃক আকর্ষিত হইয়া ভৌগোলিক দক্ষিণমুখী হইয়া থাকে। যেহেতু কোন দণ্ডচুম্বকের বলরেখা দণ্ডচুম্বকের উত্তর (N) মেরু হইতে নির্গত হইয়া দক্ষিণ (S) মেরুতে প্রবেশ করে, ভূচুম্বকের বলরেখাগুলিও একই নিয়মে চৌম্বক উত্তরমেরু (N) হইতে নির্গত হইয়া চৌম্বক দক্ষিণমেরু (S)-তে প্রবেশ করে (চিত্র 3.1)। যেহেতু ভূচৌম্বকক্ষেত্র সাধারণতঃ সমবল চৌম্বকক্ষেত্র ইহার বলরেখাগুলি পরস্পর সমান্তরাল।

ভূচৌম্বকক্ষেত্র দিক্‌দর্শী বলিয়া পৃথিবীর কোন স্থানের চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান ও অভিমুখ জানার জন্য যে সকল রাশির মান জানা দরকার তাহাদের পৃথিবীর চুম্বকত্বের মূলরাশি বা উপাদান বলে। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে এই উপাদানগুলির মান বিভিন্ন।

3.2. ভূচুম্বকত্বের উপাদান (Magnetic elements of Earth's magnetism) :

ভূচুম্বকত্বের উপাদান হইল তিনটি। যথা :

(i) **ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ** (Horizonal component of Earth's magnetic intensity),

(ii) **বিচ্যুতি** (Declination),

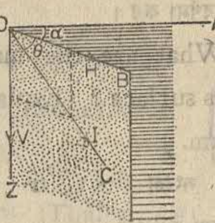
(iii) **বিনতি** (Dip)।

নিম্নে ইহাদের সম্বন্ধে আলোচনা করিব।

কোন চুম্বকশলাকাকে ইহার ভারকেন্দ্র হইতে ঝুলাইয়া উল্লম্বতলে ঘুরাইলে ইহা অনুভূমিক রেখায় স্থির হয় না, ইহার অক্ষ অনুভূমিক রেখার সহিত একটি কোণ করিয়া স্থির থাকে। ইহার কারণ, চুম্বকশলাকা ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের দ্বারা আকর্ষিত হয় এবং ঐ স্থানের ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে নিজেকে স্থাপিত করে। ঐ অবস্থায় যদি চুম্বকশলাটিকে ক্রমশঃ উত্তরমেরুর দিকে লইয়া যাওয়া হয় তবে শলাকার উত্তরমেরু ক্রমশঃ নিচের দিকে ঝুঁকিতে থাকে। অনুরূপে, দক্ষিণ-গোলার্ধে শলাকার দক্ষিণমেরু ক্রমশঃ নিচের দিকে ঝুঁকে। ইহা হইতেই প্রমাণিত হয় যে, ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা অনুভূমিক নয়—কোন একটি বিশেষ দিকে আনত। পৃথিবীর কোন স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য (I) সেইস্থানে একটি একক বিচ্ছিন্ন উত্তরমেরুর উপর ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের বলের মানও অভিমুখ হইতে পাওয়া যাইবে।

চিত্রে (3.2) O হইল ভূপৃষ্ঠস্থ একটি বিন্দু। O-বিন্দুতে রক্ষিত একটি বিচ্ছিন্ন একক উত্তরমেরু ভূচৌম্বকক্ষেত্রের দরুণ OC অভিমুখে বল (I) অনুভব

করে। অতএব OC-এর অভিমুখই O বিন্দুতে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্যের অভিমুখী। এই প্রাবল্যকে দুইটি উপাংশে—একটি অনুভূমিক তলে ও অন্যটি উল্লম্ব তলে বিভক্ত করা যায়। সেক্ষেত্রে প্রথমটিকে বলা হয় **ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ** এবং ইহা সাধারণতঃ H অক্ষর দ্বারা সূচিত হয়। চিত্রে OB হইল এই উপাংশ। দ্বিতীয়টি হইল **ভূচৌম্বক প্রাবল্যের উল্লম্ব উপাংশ** এবং ইহা V অক্ষর দ্বারা সূচিত হয়। চিত্রে OZ হইল এই উপাংশ। বলাবাহুল্য, OB ও OZ পরস্পর অভিলম্ব। OB, OC এবং OZ রেখাত্রয়ের মধ্য দিয়া অঙ্কিত অভিলম্ব তলকে বলা হয় **চৌম্বক মধ্যতল** (magnetic meridian plane)।



চিত্র 3.2

আবার, ধরা যাক্ ভৌগোলিক উত্তর ও দক্ষিণ দিক নির্দেশকারী OA রেখা হইল একটি স্থির অভিমুখ। OA ও OZ-এর মধ্য দিয়া অঙ্কিত অভিলম্ব তলকে বলা হয় **ভৌগোলিক মধ্যতল** (Geographical meridian plane)।

এখন চৌম্বক মধ্যতল BOZ ও ভৌগোলিক মধ্যতল AOZ-এর মধ্যে যে কোণ (α) উৎপন্ন হয় তাহাকে ঐ স্থানের **বিচ্যুতি** বলে।

আবার ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্যের অভিমুখ (OC) ও অনুভূমিক উপাংশের অভিমুখ (OB)-র মধ্যে যে-কোন (θ) উৎপন্ন হয়, তাহাকে ঐ স্থানের **বিনতি** বলে।

চিত্র 3.2 হইতে ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ (H) ও উল্লম্ব উপাংশ (V)-এর মান হইল,

$$H = I \cos\theta \text{ এবং } V = I \sin\theta, \quad \therefore \frac{V}{H} = \tan\theta \text{।}$$

উপরের আলোচনা হইতে বোঝা যায় যে, পৃথিবীর কোন স্থানে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ও অভিমুখ সম্পূর্ণভাবে জানিতে হইলে সেইস্থানের অনুভূমিক উপাংশ, বিনতি ও বিচ্যুতি—এই তিনটি রাশিরই মান জানা প্রয়োজন। এইজন্যই ইহাদের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উপাদান বলে।

প্রশ্নাবলী

1. ভূপৃষ্ঠস্থ কোন স্থানের চৌম্বক উপাদানগুলি কি কি? চিত্রসহ ইহাদের প্রকৃতি বর্ণনা কর।

[What are the magnetic elements at any place on the earth's surface ? Explain their nature with the help of a diagram.]

2. সংজ্ঞা লিখ: (i) বিচ্যুতি, (ii) বিনতি, (iii) ভূচুম্বকত্বের অনুভূমিক উপাংশ।

[Define : (i) Declination, (ii) Dip, (iii) Horizontal components of earth's magnetic intensity.]

স্থির তড়িৎ-বিজ্ঞান (Statical Electricity)

প্রথম অধ্যায়

তড়িতাহিতকরণের প্রাথমিক দৃষ্টান্তসমূহ
(Basic electrostatic phenomena)

1.1. সূচনা (Introduction) :

খ্রীষ্টপূর্ব 600 অব্দে গ্রীক দার্শনিক থেলস্ (Thales) লক্ষ্য করেন, **অ্যামবার** (amber) নামক একপ্রকার পদার্থ (পাইন গাছের শক্ত আঁঠা)-কে রেশমী কাপড় দ্বারা ঘর্ষণ করিলে পদার্থটিতে আকর্ষণী ক্ষমতা জন্মে এবং তখন ইহা ছোট ছোট কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করে। এরপর বহুকাল পরে 1600 খৃষ্টাব্দে ডাঃ **গিলবার্ট** (Gilbert) এই বিষয়ে বিস্তারিত অনুসন্ধান করিয়া দেখিতে পান যে, অ্যামবার ছাড়া আরও অনেক পদার্থের মধ্যে অনুরূপ গুণ বর্তমান। গ্রীক ভাষায় অ্যামবারকে ইলেকট্রন (electron) বলে বলিয়া সম্ভবতঃ ডাঃ গিলবার্ট এই ঘটনার নাম দেন **ইলেকট্রিফিকেশন** (electrification) বা **তড়িতাহিতকরণ**। ঘর্ষণের ফলে এইরূপ অবস্থাপ্রাপ্ত বস্তুকে বলা হয় **তড়িতাহিত বস্তু** (electrified substance) এবং ঘর্ষণে সৃষ্ট বস্তুর এই ক্ষমতার নাম **তড়িৎ** বা **বিদ্যুৎ** (electricity)। এই ধরনের তড়িৎ আবার বস্তুতে আবদ্ধ থাকে এবং চলাচল করিতে পারে না বলিয়া ইহাকে **স্থির-তড়িৎ** বা **স্থির-বিদ্যুৎ** (static electricity) বলে।

1.2. ঘর্ষণে তড়িৎ-সৃষ্টি (Electrification by rubbing) :

তোমরা দেখিয়াছ, শীতকালে সেলুলয়েডের চিরুণি দিয়া শুষ্ক চুল আঁচড়াইলে পট্ পট্ শব্দ শোনা যায়। ঐ চিরুনি আবার ছোট ছোট কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করে। চিরুনি ও চুলের মধ্যে ঘর্ষণের ফলে চুল এবং চিরুনি উভয় পদার্থের স্থির তড়িৎশক্তির উদ্ভব হয়।

ঘর্ষণে তড়িৎ-সৃষ্টির এইরূপ একাধিক ঘটনা পরীক্ষার সাহায্যে দেখানো যায়। একখণ্ড এবোনাইট দণ্ড ও একটুকরা ফ্লানেল সূর্যালোকে শুষ্ক ও গরম করিয়া ফ্লানেলের টুকরার সাহায্যে এবোনাইট দণ্ডটি কিছুক্ষণ ঘষিলে দেখা যাইবে যে, এবোনাইট দণ্ডটিও ছোট ছোট কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করিতেছে। ঘর্ষণে এবোনাইট দণ্ড ও ফ্লানেল উভয়ের মধ্যেই তড়িৎ-শক্তির সৃষ্টির ফলে এই আকর্ষণী ক্ষমতা জন্মে।

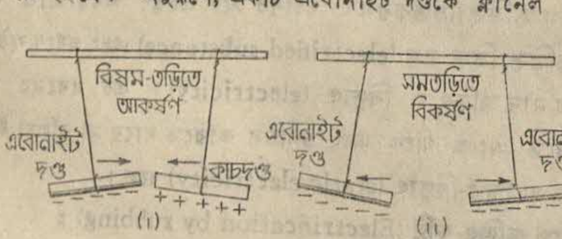
অনুরূপে, একটি কাচের দণ্ড ও একটুকরা রেশমী কাপড় সূর্যালোকে শুষ্ক ও উষ্ণ করিয়া রেশমী কাপড়টি দিয়া কাচদণ্ডকে কয়েকবার ঘষিলেও কাচদণ্ডে তড়িৎ সৃষ্টি হয় এবং ইহাও তখন কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করে। মুক্ত-ভাবে ঝোলানো কোন হাল্‌কা শোলার বলের কাছে কাচদণ্ডটিকে আনিলেও দেখা যায় যে, শোলার বলটি কাচদণ্ডের দিকে আকৃষ্ট হইতেছে। রেশমী কাপড়ের মধ্যেও অনুরূপ কারণে তড়িৎ-সৃষ্টি তথা আকর্ষণী ক্ষমতার সৃষ্টি হয়।

উপরি-উক্ত পরীক্ষাগুলি হইতে বোঝা যায়, কোন বস্তুকে উপযুক্তভাবে ঘর্ষণ করিলে বস্তুটি তড়িতাহিত হইয়া পড়ে এবং ফলে ইহা তখন আকর্ষণী ক্ষমতাপ্রাপ্ত হয়।

1.3. তড়িতের শ্রেণীবিভাগ (Classification of electricity) :

বিভিন্ন পদার্থে সৃষ্ট তড়িতের মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়া পর্যবেক্ষণ করিলে দেখা যায় যে, তড়িৎ দুই প্রকারের। নিম্নের পরীক্ষা দ্বারা ইহা প্রমাণ করা যায়।

একটি কাচদণ্ডকে রেশম দিয়া ঘষিয়া একটি সিল্কের সুতার দ্বারা ঝোলানো একটি দোলনায় রাখা হইল (চিত্র 1.1)। রেশম দিয়া ঘষার ফলে কাচদণ্ডে তড়িৎ সৃষ্টি হইবে। অনুরূপে, একটি এবোনাইট দণ্ডকে ফ্লানেল দিয়া ঘষিয়া



চিত্র 1.1

কাচদণ্ডটির পাশে আর একটি দোলনায় ঝোলানো হইল (চিত্র 1.1)। দেখা যাইবে দণ্ড দুইটি পরস্পরকে আকর্ষণ করিতেছে [চিত্র 1.1(i)]।

এবার কাচদণ্ডটি সরাইয়া আর একটি এবোনাইট দণ্ড ফ্লানেল দিয়া ঘষিয়া আগের এবোনাইট দণ্ডটির পাশে ঝোলানো হইল। এবার দেখা যাইবে, তাহারা পরস্পর বিকর্ষণ করিতেছে [চিত্র 1.1(ii)]। দুইটি এবোনাইট দণ্ডের পরিবর্তে দুইটি কাচদণ্ড রেশম দিয়া ঘষিয়া পাশাপাশি ঝোলাইলেও অনুরূপ বিকর্ষণ হইবে।

উপরি-উক্ত পরীক্ষায় বোঝা যায় যে, কাচে ও এবোনাইটে দুই রকম তড়িতের উদ্ভব হয়। কারণ, কাচের ও এবোনাইটে তড়িতের ভিতর

আকর্ষণ হইতেছে, কিন্তু কাচের তড়িৎ অন্য কাচের তড়িৎকে বা এবোনাইটের তড়িৎ অন্য এবোনাইটের তড়িৎকে বিকর্ষণ করিতেছে।

ইহা হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি যে, **তড়িৎ দুই প্রকারের: সমতড়িৎ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে ও বিষম-তড়িৎ পরস্পরকে আকর্ষণ করে।** এই নিয়ম চুম্বক-মেরুর পারস্পরিক ক্রিয়ার অনুরূপ।

বিজ্ঞানীগণ সর্বসম্মতভাবে স্থির করিয়াছেন যে, রেশম দিয়া কাচদণ্ড ঘষিলে যে তড়িতের সৃষ্টি হয় তাহাকে **ধনাত্মক তড়িৎ** (positive electricity) এবং ফ্লানেল দিয়া এবোনাইটকে ঘষার ফলে সৃষ্ট তড়িৎকে **ঋণাত্মক-তড়িৎ** (negative electricity) বলা হইবে। কাচ ও এবোনাইটের কোন বিশেষ ধর্মের জন্য এরূপ নামকরণ করা হয় না। ধনাত্মক ও ঋণাত্মক—এই দুই নামকরণের একমাত্র তাৎপর্য হইল, তড়িৎ দুই প্রকারের।

এই প্রসঙ্গে আর একটি কথা বলা প্রয়োজন। কাচকে যে-কোন জিনিস দিয়া ঘষিলেই যে সর্বদা ধনাত্মক-তড়িৎ বা এবোনাইটকে যে-কোন জিনিস দিয়া ঘষিলেই যে সর্বদা ঋণাত্মক-তড়িৎ সৃষ্টি হইবে তাহা নহে। একই বস্তুকে দুইটি বিভিন্ন বস্তু দিয়া ঘষিলে একবার ধনাত্মক ও দ্বিতীয়বার ঋণাত্মক—এই দুই রকমের তড়িৎই উৎপন্ন করা হয়। যেমন—এবোনাইটকে পশম বা ফ্লানেল দিয়া ঘষিলে ঋণাত্মক-তড়িৎ উৎপন্ন হয়, কিন্তু রজন (Resin) দিয়া ঘষিলে ইহাতে ধনাত্মক-তড়িৎ সৃষ্টি হইবে। তেমনি, কাচদণ্ডকে রেশম দিয়া ঘষিলে ধনাত্মক তড়িতের সৃষ্টি হয়, কিন্তু পশম দিয়া ঘষিলে ঋণাত্মক-তড়িতের সৃষ্টি হয়। নীচের তালিকায় যে-কোন দুইটি বস্তু ঘর্ষণ করিলে ক্রমিক সংখ্যানুযায়ী প্রথম বস্তুটিকে ধনাত্মক ও দ্বিতীয় বস্তুটিতে ঋণাত্মক-তড়িতের সৃষ্টি হইবে।

1. পশম	6. এবোনাইট
2. কাচ	7. গালা
3. রেশম	8. অ্যামবার
4. কাঠ	9. রজন
5. ধাতব পদার্থ	10. সেলুলয়েড

1.4. বিকর্ষণই তড়িতাহিতকরণের নিশ্চয়তার প্রমাণ (Repulsion is the surer test of electrification):

তোমরা পূর্ববর্তী পরীক্ষাগুলিতে দেখিয়াছ যে-কোন তড়িতাহিত বস্তু দ্বিতীয় তড়িৎ-বিহীন বস্তু বা বিপরীত তড়িৎযুক্ত বস্তু উভয়কেই আকর্ষণ করে।

ফলে, আকর্ষণ দ্বারা আকৃষ্ট বস্তুর তড়িতাবস্থা সঠিকভাবে জানা যায় না। কিন্তু যদি দ্বিতীয় বস্তুটি তড়িতাহিত বস্তু দ্বারা বিকর্ষিত হয়, তবে আমরা সঠিকভাবে বলিতে পারি যে, বিকর্ষিত বস্তুটি সম-তড়িৎযুক্ত। সেইজন্য বলা হয়, বিকর্ষণই হইল বস্তুতে তড়িতাধানের (electric charge) প্রকৃতি নিশ্চিতরূপে জানার একমাত্র উপায়।

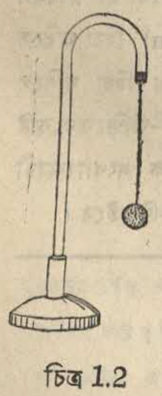
1.5. তড়িৎ-বীক্ষণ (Electroscope) :

কোন বস্তুতে তড়িতাধানের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি নিশ্চিতভাবে জানার জন্য তড়িৎ-বীক্ষণ নামক এক যন্ত্রের সাহায্য লওয়া হয়। ইহা প্রধানতঃ দুই প্রকারের হয় :

(i) পিথ্‌বল তড়িৎ-বীক্ষণ (Pithball Electroscope) :

ইহাতে একটি হাল্কা শোলার বল একটি রেশমের সূতা দ্বারা একটি শক্ত অবলম্বন হইতে ঝুলানো থাকে (চিত্র 1.2)। বলটি তড়িৎ পরিবাহী। তাছাড়া হাল্কা হওয়ার জন্য ইহাকে সামান্য বলপ্রয়োগেই স্থানান্তরিত করা যায়।

পরীক্ষা : এখন কোন বস্তু তড়িতাহিত কিনা তাহা জানিতে হইলে বস্তুটিকে ঐ তড়িৎ-বিহীন বলের কাছে আনা হয়। বলটি যদি বস্তুটি কর্তৃক আকর্ষিত হয় তবে বুঝিতে হইবে, বস্তুটি তড়িতাহিত। আর যদি বস্তুটি বলটিকে প্রভাবিত না করে তবে বস্তুটি তড়িৎ-বিহীন।



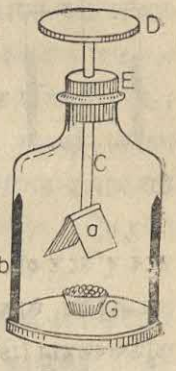
চিত্র 1.2

বস্তু কর্তৃক বলটি আকৃষ্ট হইলে বস্তুটিতে আধানের (charge) প্রকৃতি জানা দরকার। ইহার জন্য বলটিকে কোন জানিত তড়িৎ কর্তৃক আহিত করিতে হইবে। একটি এবোনাইট দণ্ডকে ফ্লানেল দিয়া ঘষিয়া ঋণ-তড়িতাহিত করা হয়। এখন এই দণ্ডটি শোলার বলটিতে ছোঁয়াইলে বলটিও ঋণ-তড়িৎগ্রস্ত হইয়া পড়ে। এখন পরীক্ষণীয় তড়িতাহিত বস্তুটিকে বলের কাছে আনা হইল। যদি উভয়ের মধ্যে আকর্ষণ হয় তবে বুঝিতে হইবে বস্তুটি বিষম-তড়িৎগ্রস্ত অর্থাৎ ধনাত্মক তড়িতাহিত। আর যদি উভয়ের মধ্যে বিকর্ষণ হয় তবে বোঝা যায় যে, বস্তুটি সম-তড়িৎগ্রস্ত অর্থাৎ ঋণাত্মক তড়িতাহিত।

এইভাবে বলটিকে রেশম দিয়া ঘষা কাচদণ্ডের সাহায্যে ধনবিদ্যুতাহিত করিয়াও বস্তুর তড়িতাধানের প্রকৃতি সম্বন্ধে স্থির সিদ্ধান্তে আসা যায়।

(ii) **স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ** (Gold-leaf electroscope) :

তড়িৎ-আধানের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি অধিকতর সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করিবার জন্য স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ ব্যবহৃত হয়। এই যন্ত্রে একটি পিতলের দণ্ড (*C*) থাকে (চিত্র 1.3)। এই দণ্ডের উপরে একটি পিতলের চাকৃতি (*D*) থাকে এবং নীচে দুইটি হাল্কা সোনার পাত (*a*) থাকে। পিতলের দণ্ডটি একটি অপরিবাহী পদার্থ দ্বারা তৈয়ারী ছিপির (*E*) মধ্যদিয়া প্রবেশ করাইয়া একটি কাচের বেলজারের (*G*) মধ্যে এমনভাবে রাখা থাকে যাহাতে ধাতব চাকৃতি (*D*) ও দণ্ডের কিছুটা অংশ বাইরে থাকে। দুইটি টিনের পাত (*b*) স্বর্ণপত্রদ্বয়ের মুখোমুখি অবস্থায় কাচের বেলজারের ভিতরের গায়ে আটকানো থাকে। বেলজারের তলদেশে একটি পাত্রে ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড ($CaCl_2$) নামক কিছু জলশোষক পদার্থ রাখা থাকে; ইহা কাচপাত্রের ভিতরের বায়ুকে সর্বদা শুষ্ক রাখে। শুষ্ক বায়ু তড়িতের অপরিবাহী বলিয়া স্বর্ণপত্রদ্বয় হইতে তড়িৎ বায়ুতে চলিয়া যাইতে পারে না। ব্যবহারের পূর্বে এই যন্ত্রের তলদেশ ভূমির সংস্পর্শে রাখিতে হয়।



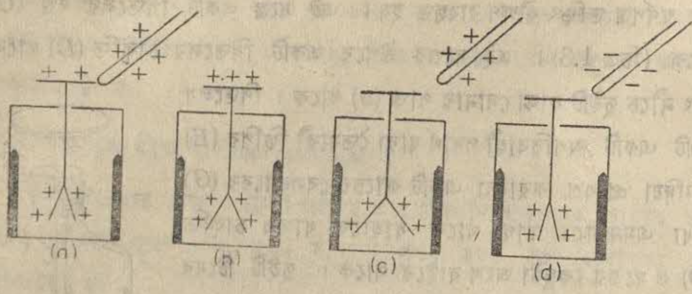
চিত্র 1.3

এই যন্ত্রে স্বর্ণপত্র ব্যবহৃত হওয়ার কারণ সোনা অত্যন্ত ঘাতসহ (malleable) এবং খুব নমনীয় (ductile) ধাতু। যে-কোন উষ্ণতাতেই ইহা বায়ু বা অক্সিজেনের সহিত রাসায়নিক বিক্রিয়া করে না। এই যন্ত্র নিম্নলিখিতভাবে ব্যবহৃত হয়।

পরীক্ষা : শুরুতে যন্ত্রটিকে ভালভাবে পরিষ্কার ও শুষ্ক করিয়া লইতে হয়। অতঃপর কোন পরীক্ষণীয় বস্তুকে যন্ত্রটির চাকৃতির নিকট আনিলে যদি ইহার স্বর্ণপত্র দুইটি ফাঁক হইয়া যায় (চিত্র 1.3) তবে বুঝিতে হইবে বস্তুটি তড়িতাহিত। যদি বস্তুটি তড়িতাহিত না হয় তবে স্বর্ণপত্র দুইটি ফাঁক হইবে না।

এখন বস্তুটি তড়িতাহিত হইলে ইহার আধানের প্রকৃতি জানা দরকার। ইহা করিতে গেলে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রকে পূর্বে কোন জানিত তড়িৎ কর্তৃক আহিত করিয়া লইতে হইবে। ধরা যাক, যন্ত্রটিকে রেশম দিয়া ঘষা কাচদণ্ডের সংস্পর্শে আনিয়া ধনাত্মক তড়িতাহিত করা হইল (চিত্র 1.4a)। ফলে স্বর্ণপত্র দুইটি একই প্রকারের (ধনাত্মক) আধানের প্রভাবে ফাঁক হইয়া যাইবে। এই পদ্ধতিতে তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রটি পরিবহন প্রক্রিয়ায় (conduction) ধন-তড়িতাহিত হইল। এখন কাচদণ্ডটি সরাইয়া লইলেও স্বর্ণপত্র দুইটি বিস্ফারিত হইয়া

থাকিবে (চিত্র 1.4b)। কাচদণ্ডটি সরাইয়া পরীক্ষণীয় বস্তুটিকে অতঃপর যন্ত্রের চাকৃতির কাছে আনা হইল। যদি স্বর্ণপত্র দুইটি আরো বিস্ফারিত হইতে চায়



চিত্র 1.4

তবে বুঝিতে হইবে যে, বস্তুটি ধন-তড়িতাহিত (চিত্র 1.4c)। আর যদি স্বর্ণপত্র দুইটির ফাঁক কিছুটা কমিয়া যায় তবে বুঝিতে হইবে বস্তুটিতে ঋণাত্মক তড়িৎ বর্তমান (চিত্র 1.4d)।

অনুরূপে, যন্ত্রটিকে পূর্বে ঋণাত্মক তড়িতাহিত করিয়াও পরীক্ষণীয় বস্তুটির আধানের প্রকৃতি জানিতে পারা যায়। এক্ষেত্রে বস্তুটি চাকৃতিটির নিকট আনিলে যদি স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বাড়ে তবে বুঝিতে হইবে বস্তুটি ঋণ-তড়িতাহিত ; আর কমিলে বস্তুটি ধন-তড়িতাহিত।

উপরি-উক্ত পরীক্ষাসমূহ হইতে আমরা বলিতে পারি যে, তড়িতাহিত অবস্থায় তড়িৎ-বীক্ষণের স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বৃদ্ধি পাইলে পরীক্ষাধীন বস্তুটি সম-তড়িৎগ্রস্ত বুঝিতে হইবে। বিস্ফারণ হ্রাসে অবশ্য বস্তুটি বিপরীত তড়িৎগ্রস্ত বা নিস্তড়িৎ দুই-ই হইতে পারে। নিস্তড়িৎ বস্তুর ক্ষেত্রে তড়িৎ-বীক্ষণের চাকৃতি হইতে তড়িৎ নিস্তড়িৎ বস্তুতে আহিত হইবে, ফলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের আধানের পরিমাণ হ্রাস পাইয়া ইহাদের বিস্ফারণ কমিয়া যাইবে। এক্ষেত্রে তড়িৎ-বীক্ষণের চাকৃতিতে হাত দিয়া ইহাকে তড়িৎমুক্ত করিতে হইবে। ইহাতে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ হ্রাস পাইবে এবং তখন বস্তুটিকে তড়িৎ-বীক্ষণের চাকৃতির নিকটে আনিলে যদি পুনরায় স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ ঘটে তবে বুঝিতে হইবে বস্তুটি পূর্বাবস্থায় তড়িৎ-বীক্ষণের আধানের বিপরীত আধানযুক্ত। আর যদি স্বর্ণপত্রদ্বয় বিস্ফারিত না হয় তবে বস্তুটি তড়িতাহিত নয়।

1.6. পরিবাহী ও অপরিবাহী বা অন্তরক পদার্থ (Conductor and non-conductor or insulator) :

একটি পিতলের দণ্ডকে হাতে ধরিয়া রেশম বা ফ্লানেল দিয়া ঘষিয়া কয়েক

টুকরা কাগজের উপর ধরিলে পিতলের দণ্ডটি কাগজের টুকরাগুলিকে আকর্ষণ করে না। অথচ কাচ, এবোনাইট প্রভৃতি বস্তুকে ঐসব জিনিস দিয়া ঘষিলে উহারা তড়িতাহিত হয় এবং কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করে। এরূপ হওয়ার কারণ কি?

প্রকৃতপক্ষে যে-কোন বস্তুকেই উপযুক্ত ঘর্ষণকারীর সাহায্যে তড়িতাহিত করা যায়। পিতলের দণ্ডেও তড়িৎ সৃষ্টি হইয়াছিল; কিন্তু সেই তড়িৎ পিতলের দণ্ড হইতে মানুষের শরীরের মধ্য দিয়া সঙ্গে সঙ্গে পৃথিবীতে চলিয়া গিয়াছে। কারণ, পিতলের দণ্ড ও মানুষের শরীরের মধ্য দিয়া তড়িৎ সহজেই চলাচল করিতে পারে। ফলে, পিতলের দণ্ডে তড়িতের বহিঃপ্রকাশের সুযোগ ঘটে নাই; কাগজের টুকরাগুলিকে আকর্ষণ করার পূর্বেই দণ্ডটি তড়িৎ-বিহীন হইয়া পড়ে।

এখন পিতলের দণ্ডের হাতে-ধরা প্রান্তকে কোন কাগজ বা এবোনাইটের হাতলের সাহায্যে ধরিলে দেখা যাইবে, ঘর্ষণের পর দণ্ডটি কাগজের টুকরাগুলিকে আকর্ষণ করিতেছে। কারণ, কাগজ বা এবোনাইটের মধ্য দিয়া তড়িৎ চলাচল করিতে পারে না। ফলে, তড়িৎ তখন পিতলের দণ্ডেই আবদ্ধ থাকে।

এই দৃষ্টান্ত হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি, কোন কোন পদার্থ আছে যাহাদের মধ্য দিয়া তড়িৎ সহজেই চলাচল করিতে পারে এবং কোন কোন পদার্থের মধ্য দিয়া তড়িৎ চলাচল করিতে পারে না। প্রথম শ্রেণীর পদার্থগুলিকে তড়িতের **পরিবাহী** (conductor) এবং শেষোক্ত শ্রেণীর পদার্থগুলিকে তড়িতের **অপরিবাহী** (non-conductor) বা **অন্তরক** (insulator) বলা হয়।

পিতল সহ সকল ধাতব পদার্থই তড়িৎ-পরিবাহী। ইহাদের মধ্যে আবার তড়িৎ-পরিবহনের ক্ষমতা কম-বেশী হয়। তামা, রূপা, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি তড়িতের খুব ভালো পরিবাহী। এজন্যই বৈদ্যুতিক তার তামা অথবা অ্যালুমিনিয়ামের তৈয়ারী হয়। ধাতব পদার্থ ছাড়াও ভিজা মাটি, মানুষের দেহ, পারদ, কার্বন প্রভৃতি পরিবাহী পদার্থের উদাহরণ।

কাগজ, কাচ, মোম, কাঠ, এবোনাইট, পোর্সেলিন, প্লাস্টিক, রবার, বেকেলাইট প্রভৃতি অপরিবাহী বা অন্তরক পদার্থ। টেলিফোনের তার, বৈদ্যুতিক তার প্রভৃতি সরাসরি ধাতব পোস্টের সঙ্গে সংযুক্ত করা হয় না, পোর্সেলিন বাটির মাধ্যমে যুক্ত করা হয়। নতুবা ধাতব পোস্টের মাধ্যমে তারের বিদ্যুতের মাটির সহিত সংযোগ ঘটিত এবং সেই পোস্ট কেউ স্পর্শ

করিলে তৎক্ষণাৎ তড়িৎস্পৃষ্ট হইত। পোর্সেলিন তড়িৎ-অন্তরক হওয়ায় তারের তড়িৎ পোস্টে আসিতে পারে না এবং ঐরূপ কোন বিপদেরও আশঙ্কা থাকে না।

পরীক্ষাগারে ব্যবহৃত সংযোগী তামার তারগুলিতে সুতা বা রেশম জড়ানো থাকে। সুতা বা রেশম তড়িৎ-অপরিবাহী বলিয়া তারে তারে ঠেকিয়া গেলেও কাজের কোন ক্ষতি হয় না। বাড়ীর ভিতরের বৈদ্যুতিক লাইনের তারগুলি সাধারণতঃ রবার বা প্লাস্টিক দিয়া ঢাকা থাকে। এই ধরনের তারকে অন্তরিত তার বলে।

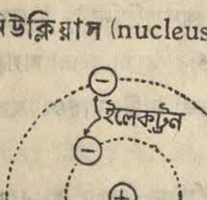
অপরিবাহী পদার্থগুলির মধ্য দিয়া তড়িৎ যে একেবারেই প্রবাহিত হয় না তাহা নহে। এই শ্রেণীর পদার্থের মধ্য দিয়া অপেক্ষাকৃত কম তড়িৎ প্রবাহিত হয় বলিয়া ইহাদের অপরিবাহী পদার্থ বলা হয়।

1.6a. পদার্থের পরিবাহিতা ও অপরিবাহিতার ব্যাখ্যা : ইলেক্ট্রনীয় মতবাদ (Explanation of the electrical conductivity and non-conductivity of substances : Electron theory) :

তড়িৎ-সংক্রান্ত বিভিন্ন ঘটনার ব্যাখ্যার ক্ষেত্রে সর্বাধুনিক মতবাদ হইল **ইলেকট্রনীয় মতবাদ** (electron theory)। স্যার জে. জে. টমসন (J. J. Thomson), রাদারফোর্ড (Rutherford), নীল বোর (Niels Bohr) প্রমুখ বৈজ্ঞানিকগণ এই মতবাদের প্রবর্তক।

প্রত্যেক বস্তু অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দ্বারা গঠিত। ইহাদের পরমাণু (atom) বলে। পরমাণুগুলি আবার **ইলেকট্রন** (electron), **প্রোটন** (proton), ও **নিউট্রন** (neutron) নামক তিনটি কণিকার সমন্বয়ে গঠিত।

ইলেকট্রন ঋণাত্মক তড়িৎসম্পন্ন। ইহা ধনাত্মক তড়িৎসম্পন্ন **কেন্দ্রক** বা **নিউক্লিয়াস** (nucleus)-কে সর্বদা প্রদক্ষিণ করিতেছে। নিউক্লিয়াস পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে থাকে এবং ইহা ধনাত্মক তড়িৎ-সম্পন্ন প্রোটন ও নিস্তড়িৎ নিউট্রন দ্বারা গঠিত। একটি প্রোটনের ধনাত্মক তড়িৎ একটি ইলেকট্রনের ঋণাত্মক তড়িতের সমান এবং গোটা পরমাণুতে সমসংখ্যক প্রোটন ও ইলেকট্রন থাকে। ফলে, পরমাণুটি সর্বদা তড়িৎ-নিরপেক্ষ থাকে। বিভিন্ন পদার্থে অবশ্য ইলেকট্রন ও প্রোটনের সংখ্যা বিভিন্ন। কিন্তু সর্বক্ষেত্রেই ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসকে



চিত্র 1.5

কেন্দ্র করিয়া বিভিন্ন খোলকে (shell) সর্বদা ঘুরিতেছে (চিত্র 1.5)। নিউক্লিয়াসের কণিকাগুলি পরস্পরের সহিত সুদৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকায় ইহাদের বিচ্ছিন্ন করা সম্ভব নয়। ইলেকট্রনগুলি কিন্তু খুব হাল্কা ও পরস্পর বিচ্ছিন্ন থাকে। ফলে, বিশেষ বিশেষ ক্ষেত্রে সহজেই ইহাদের পরমাণু হইতে বিচ্ছিন্ন করা যায়। কোন উপায়ে পরমাণু হইতে ইলেকট্রন-সংখ্যার আধিক্য বা হ্রাস করিতে পারিলে পরমাণু ঋণ-তড়িৎ বা ধন-তড়িৎগ্রস্ত হইয়া পড়িবে। ইহাই হইল তড়িতের সংক্ষিপ্ত ইলেকট্রনীয় মতবাদ।

উপরি উক্ত মতবাদের সাহায্যে পরিবাহী ও অপরিবাহী পদার্থের ব্যাখ্যা করা যায়। অপরিবাহী পদার্থের যে-কোন পরমাণুতে ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াস দ্বারা দৃঢ়ভাবে যুক্ত থাকে। ফলে, বাহ্যিক কোন বলের সাহায্যে এই-সব ইলেকট্রনকে স্থানচ্যুত করা যায় না। অর্থাৎ অপরিবাহী বা অন্তরক পদার্থের ইলেকট্রনগুলি স্বাধীনভাবে চলাফেরায় অক্ষম। কিন্তু পরিবাহীর যে-কোন পরমাণুতে ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াস দ্বারা তত দৃঢ়ভাবে যুক্ত থাকে না। ফলে, বাহ্যিক বলের সাহায্যে ইহাদের ইলেকট্রনকে স্থানচ্যুত করা যায়। অর্থাৎ, পরিবাহীর ইলেকট্রনগুলি স্বচ্ছন্দে এক পরমাণু হইতে অন্য পরমাণুতে চলাফেরা করিতে পারে। ইলেকট্রনের এই মুক্ত গতিবিধিই পরিবাহীতে তড়িতের গতি নির্দেশ করে।

ধাতব পদার্থে কিছু ইলেকট্রন সম্পূর্ণ মুক্ত অবস্থায় থাকে। কোন বাহ্যিক কারণে অতিরিক্ত কোন ইলেকট্রন ধাতুখণ্ডে যুক্ত হইলে সংযুক্ত বৈদ্যুতিক আধানগুলি পরস্পর বিকর্ষণে ধাতুখণ্ডের পৃষ্ঠে ছড়াইয়া পড়ে। সেইরূপ ধাতু হইতে কিছু ইলেকট্রন বাহির হইয়া যাইতেও পারে। প্রথম ক্ষেত্রে ধাতুটি ঋণ-তড়িৎগ্রস্ত এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ধন-তড়িৎগ্রস্ত হয়। ফলে, ধাতুতে তড়িতাধান সহজেই একস্থান হইতে অন্যস্থানে যাইতে পারে। ইহাই ধাতুর পরিবাহিতার কারণ।

1.7. তড়িতাবেশ (Electrostatic Induction) :

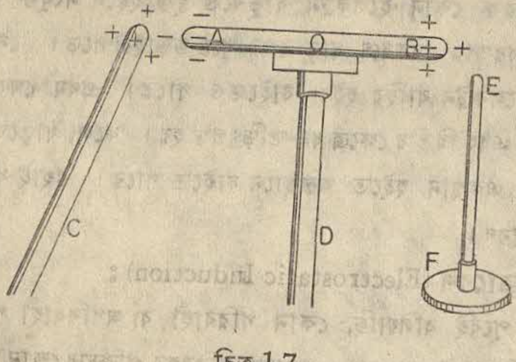
আমরা পূর্বেই বলিয়াছি, কোন পরিবাহী বা অপরিবাহী পদার্থে ঘর্ষণ-পদ্ধতিতে তড়িৎ সৃষ্টি করা যায়। এছাড়া, পরিবহন প্রক্রিয়ায় কোন তড়িতাহিত পরিবাহীর সংস্পর্শে অন্য পরিবাহীকেও তড়িতাহিত করা যায়। এই দুই পদ্ধতি ছাড়াও কোন তড়িতাহিত পরিবাহীর সন্নিকটে কোন পরিবাহী পদার্থ আনিলেও পরিবাহীতে সাময়িকভাবে তড়িৎসৃষ্টি হয়। এই পদ্ধতিতে তড়িৎ-সৃষ্টির নাম **তড়িতাবেশ** (electrostatic Induction)।

কোন তড়িতাহিত পরিবাহী হইতে তড়িৎ সংগ্রহ করিয়া তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রে পরীক্ষা করিবার জন্য **আধান-পরীক্ষক** (proof-plane) নামক এক-প্রকার ব্যবস্থার সাহায্য লওয়া হয়। এই ব্যবস্থায় একটি ধাতব চাকৃতি F (তামা বা ব্রাশের) একটি অপরিবাহী হাতলে (E)-এর সহিত যুক্ত থাকে (চিত্র 1.6)। এই অপরিবাহী হাতল ধরিয়া ধাতব চাকৃতিটিকে তড়িতাহিত বস্তুতে স্পর্শ করাইলে পরিবহন-পদ্ধতিতে বস্তু হইতে কিছু আধান চাকৃতিতে চলিয়া আসে এবং তখন ঐ আধানের প্রকৃতি তড়িৎ-বীক্ষণের সাহায্যে পরীক্ষা করা হয়।



চিত্র 1.6

এখন তড়িতাবেশে তড়িৎসৃষ্টি এবং সৃষ্ট তড়িতাধানের প্রকৃতি কিরূপ হয় তাহার পরীক্ষা করা যাক্। একটি কাচদণ্ডকে (C) রেশম দিয়া ঘষিয়া ধনাত্মক তড়িতাহিত করিয়া একটি তড়িত-বিহীন পরিবাহী (AB)-এর নিকটে আন (চিত্র 1.7)। পরিবাহীটি অপরিবাহী পদার্থের তৈয়ারী একটি স্ট্যাণ্ডের (D) উপর রাখা আছে। তড়িতাবেশের ফলে কাচদণ্ডটির তড়িৎ-পরিবাহী দণ্ডটিকে আহিত করিবে। ইহা পরীক্ষার জন্য একটি আধান-পরীক্ষক ও স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্য লও। আধান-পরীক্ষকের চাকৃতিটি পরিবাহীর প্রান্তে স্পর্শ করিয়া উহাকে নিস্তড়িৎ স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণের চাকৃতির কাছে ধর।



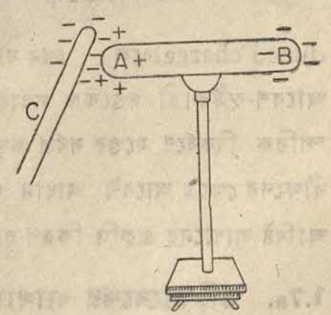
চিত্র 1.7

দেখিবে স্বর্ণপত্রদ্বয় বিস্ফারিত হইল। অর্থাৎ পরিবাহীর A প্রান্ত তড়িতাহিত হইয়াছে। অনুরূপে, ইহার B প্রান্ত হইতেও তড়িতাধান নিস্তড়িৎ (হাত দিয়া স্পর্শ করিয়া) আধান-পরীক্ষকের সাহায্যে সংগ্রহ করিয়া নিস্তড়িৎ তড়িৎ-বীক্ষণের চাকৃতির সন্নিকটে আনিলেও স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ দেখা যাইবে।

অর্থাৎ পরিবাহীর উভয় প্রান্তই তড়িতাহিত হইয়াছে। নিস্তড়িৎ আধান-পরীক্ষকটি কিন্তু পরিবাহীর মধ্যস্থলে (*O* বিন্দুর সন্নিকটে) স্পর্শ করাইয়া অনুরূপ তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রে পরীক্ষা করিলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের কোন বিস্ফারণ দেখা যাইবে না। অর্থাৎ পরিবাহীর মধ্যস্থলে কোন তড়িৎ নাই।

এখন পরিবাহীর কোন্ প্রান্তে, কিরূপ তড়িৎ সৃষ্টি হইল তাহার পরীক্ষা করা যাক্। তড়িৎ-বীক্ষণটি ঋণাত্মক তড়িতাহিত কর। এখন আধান-পরীক্ষকটি পরিবাহীর *A* প্রান্ত স্পর্শ করাইয়া তড়িৎ-বীক্ষণের চাকৃতির কাছে আনিলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বৃদ্ধি পাইবে। অর্থাৎ পরিবাহীর *A* প্রান্তে ঋণাত্মক তড়িৎ বা কাচদণ্ডের বিপরীত প্রকৃতির তড়িৎ সৃষ্টি হইয়াছে। অনুরূপে, পরিবাহীর *B* প্রান্তের আধান ধনাত্মক তড়িতাহিত তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রের কাছে আনিলে পত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ বৃদ্ধি পাইবে। অর্থাৎ পরিবাহীর *B* প্রান্ত ধনাত্মক তড়িতাহিত বা কাচদণ্ডের সম-তড়িতাহিত হইয়াছে।

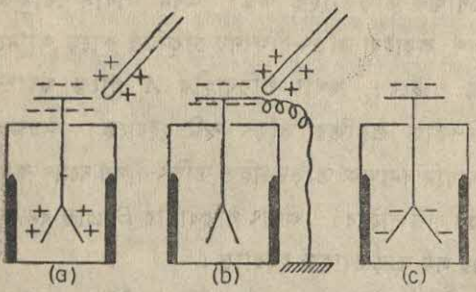
কাচদণ্ডের পরিবর্তে ফ্লানেল দিয়া ঘষা কোন এবোনাইট দণ্ড (ঋণাত্মক তড়িতাহিত) পরিবাহীটির কাছে আনিয়া উপরি-উক্ত পরীক্ষা করিয়া দেখা যাইবে যে, পরিবাহীটির *A* প্রান্তে ধনাত্মক ও *B* প্রান্তে ঋণাত্মক তড়িৎ সৃষ্টি হইয়াছে (চিত্র 1.8)। এ ক্ষেত্রেও পরিবাহীটির মধ্যস্থলে কোন তড়িৎ সৃষ্টি হইবে না।



চিত্র 1.8

উভয় ক্ষেত্রেই অবশ্য কাচদণ্ড বা এবোনাইট দণ্ডকে দূরে সরাইয়া লইলে পরিবাহীটি পুনরায় নিস্তড়িৎ হইয়া পড়িবে। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, **পরিবাহীটির দুইপ্রান্তে আবেশে সৃষ্ট আধান পরিমাণে সমান ও প্রকৃতিতে বিপরীত।** তড়িতাবেশে পরিবাহীর যে প্রান্ত আহিত বস্তুর নিকটতম (*A*) সেই প্রান্তে আহিত বস্তুর বিপরীত তড়িৎ এবং দূরের প্রান্তে (*B*) সম-তড়িৎ আবিষ্ট হইবে। মধ্যস্থল তড়িৎ-নিরপেক্ষ থাকিবে। আবেশ-সৃষ্টিকারী আধানকে (কাচদণ্ড বা এবোনাইট দণ্ডের আধানকে) **আবেশী আধান** (inducing charge) এবং পরিবাহীতে সৃষ্ট আধানকে **আবিষ্ট আধান** (induced charge) বলে। পরিবাহীর যে প্রান্ত আবেশ-সৃষ্টিকারী বস্তুর নিকটতম (*A* প্রান্ত) সেই প্রান্তের আধানকে আবার **বদ্ধ আবিষ্ট**

আধান (bound induced charge) বলা হয়। কারণ ইহা আবেশী আধানের বিপরীত বলিয়া দুই-এর ভিতরে আকর্ষণের ফলে ইহা স্থানত্যাগ করিতে পারে না। পক্ষান্তরে, দূরের প্রান্তের (B প্রান্তের) আধান আবেশী আধানের সমধর্মাবলম্বী বলিয়া বিকর্ষণ অনুভব করে এবং দূরে সরিয়া যাইতে চায়। ফলে আবেশ-সৃষ্টিকারী দণ্ড (C)-এর উপস্থিতিতেই যদি পরিবাহীকে স্পর্শ করা যায় বা পরিবাহী তার দিয়া মাটির সহিত সংযুক্ত করা যায় তবে ইহার B প্রান্তের আধান তৎক্ষণাৎ পৃথিবীতে চলিয়া যাইবে। এই জন্য B প্রান্তের আধানকে **মুক্ত আবিষ্ট আধান** (free induced charge)বলে। এখন যদি পৃথিবীর সহিত সংযোগকারী তার কাটিয়া আবেশ-সৃষ্টিকারী দণ্ডকেও সরাইয়া লওয়া হয় তবে বদ্ধ আবিষ্ট আধান পারস্পরিক বিকর্ষণে দণ্ডের সর্বত্র ছড়াইয়া পড়িবে। চিত্রে (1.9) স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের ক্ষেত্রে আবেশী আধান ধনাত্মক হইলে উপরিবর্ণিত অবস্থাগুলিতে আবিষ্ট আধানের প্রকৃতি কিরূপ হয় তাহা দেখানো হইল।



চিত্র 1.9

1.7a. তড়িতাবেশের ব্যাখ্যা (Explanation of electrostatic induction):

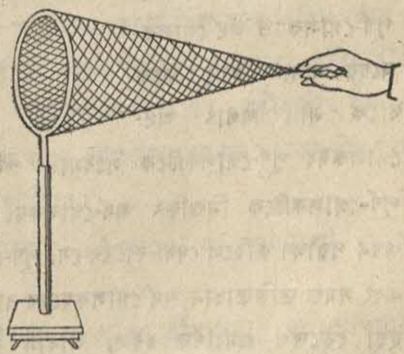
ইলেকট্রনীয় তত্ত্বের সাহায্যে সহজেই তড়িতাবেশের ব্যাখ্যা করা যায়। আমরা জানি, প্রত্যেক পরিবাহীতে প্রচুর মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। ইহারা পরিবাহীর এক পরমাণু ইহাতে অন্য পরমাণুতে সহজেই যাতায়াত করিতে পারে। ফলে, আবেশী আধান ধনাত্মক হইলে ইহার আকর্ষণে পরিবাহীর নিকটপ্রান্তে স্বাধীন ইলেকট্রনগুলি জমা হইবে। ফলে, দূরপ্রান্তে ইলেকট্রনের ঘাটতি হইবে। কাজেই নিকটপ্রান্তে ঋণ-তড়িৎ এবং দূরের প্রান্তে ধন-তড়িতের উদ্ভব হইবে। অনুরূপে, আবেশী আধান ঋণাত্মক হইলে পরিবাহীর নিকট প্রান্তের ইলেকট্রনগুলি বিকর্ষিত হইয়া দূরের প্রান্তে জমা হইবে। ফলে, এক্ষেত্রে নিকটপ্রান্তে ধন-তড়িৎ ও দূরের প্রান্তে ঋণ-তড়িতের উদ্ভব হইবে।

1.8. পরিবাহীতে আধানের অবস্থান (Seat of a charge on a conductor) **:**

কোন পরিবাহীকে তড়িতাহিত করিলে দেখা যায় যে, তড়িতাধান সর্বদা পরিবাহীর উপর-পৃষ্ঠে অবস্থান করে। কয়েকটি পরীক্ষার সাহায্যে ইহার সত্যতা প্রমাণ করা যায়।

(i) **ফ্যারাডের প্রজাপতি-জাল পরীক্ষা** (Faraday's butterfly-net experiment) **:**

বিজ্ঞানী ফ্যারাডে এই পরীক্ষাটি করেন। একটি অন্তরক স্ট্যাণ্ডের উপর রাখা একটি ধাতব আংটার সহিত একটি শঙ্কু-আকৃতির মসলিনের জাল আটকানো থাকে। জালের সরু প্রান্তে দুই দিকে দুইগাছা লম্বা রেশমী সূতা লাগানো থাকে। এই সূতা টানিয়া জালের ভিতরের দিক বাইরে এবং বাইরের দিক ভিতরে করা যায় (চিত্র 1.10)। এখন জালের যে-কোন অবস্থানে কোন তড়িৎ-যন্ত্রের সাহায্যে ইহাকে তড়িতাহিত কর। এইবার একটি আধান-পরীক্ষক জালের বাহিরের পিঠে ছোঁয়াও। অতঃপর স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে আধান-পরীক্ষকটি লইয়া গেলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ে বিস্ফারণ দেখা যাইবে। অর্থাৎ, জালের বাহিরের পিঠে তড়িৎ রহিয়াছে। এখন আধান-পরীক্ষককে নিস্তড়িৎ করিয়া পুনরায় জালের ভিতরের পিঠে স্পর্শ কর এবং নিস্তড়িৎ তড়িৎ-বীক্ষণে আধানের প্রকৃতি পরীক্ষা কর। দেখিবে তড়িৎ-বীক্ষণে কোন বিস্ফারণ হইতেছে না। অর্থাৎ জালের ভিতরের পিঠে কোন আধান নাই।

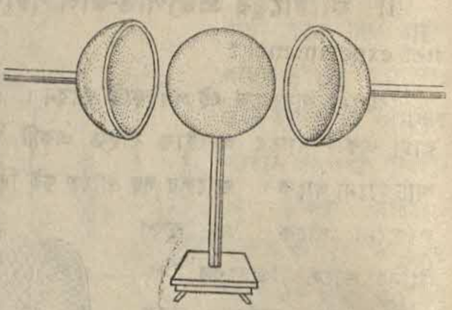


চিত্র 1.10

এখন সূতা টানিয়া জালের ভিতরের পিঠে বাইরে এবং বাইরের পিঠ ভিতরে আন। পূর্বের মতই জালের বাহিরের ও ভিতরের পিঠের আধানের পরীক্ষা কর। দেখিবে এবারও জালের বাহিরের পিঠে আধান চলিয়া আসিয়াছে, ভিতরের পিঠে কোন আধান নাই।

(ii) **ফাঁপা পরিবাহী দ্বারা পরীক্ষা—বায়টের পরীক্ষা** (Experiment with hollow conductor—Biot's experiment) :

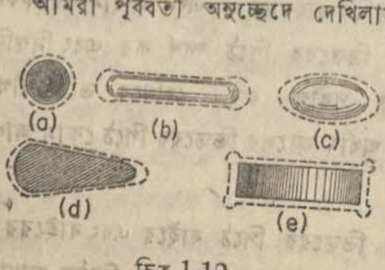
বিজ্ঞানী বায়ট একটি তামার ফাঁপা গোলক একটি অপরিবাহী দণ্ডের উপর বসাইয়া ইহাকে তড়িতাহিত করেন। আধান-পরীক্ষক ও তড়িৎ-বীক্ষণের সাহায্যে গোলকের উপরের পৃষ্ঠে আধানের অবস্থিতি প্রমাণিত হইল। এখন দুইটি ধাতব অর্ধগোলক দুইটি অপরিবাহী দণ্ডের সঙ্গে যুক্ত আছে (চিত্র 1.11)। এই দুইটি অর্ধ-গোলকের মাপ এমন করা হয় যে, ইহাদের মুখোমুখি জোড়া লাগাইলে ইহারা পূর্ণ-গোলকটিকে সম্পূর্ণভাবে ঢাকিয়া থাকে এবং এই অবস্থায় পূর্ণ-গোলক ও অর্ধ-গোলকদ্বয়ের মধ্যে কোন ফাঁক থাকে না। অর্থাৎ অর্ধ-গোলকদ্বয় পূর্ণ-গোলকটিকে সবেমাত্র স্পর্শ করিয়া থাকে। তড়িতাহিত পূর্ণ-গোলকটিকে নিস্তড়িৎ অর্ধ-গোলকদ্বয় দ্বারা ঢাকিয়া খুলিয়া লওয়া হইল। এখন পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে, পূর্ণ-গোলকটিকে নিস্তড়িৎ হইয়া গিয়াছে এবং সমস্ত তড়িতাধান অর্ধ-গোলকদ্বয়ের বাহিরের পৃষ্ঠে আসিয়া জমা হইয়াছে। ইহা হইতেও প্রমাণিত হইল, আধান কখনো পরিবাহীর ভিতরের পৃষ্ঠে থাকে না।



চিত্র 1.11

1.9. আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব (Surface density of charge) :

আমরা পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদে দেখিলাম যে, পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠে তড়িতাধান অবস্থান করে। কিন্তু পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠের সর্বত্রই তড়িতাধানের পরিমাণ সমান নহে। পরিবাহী-পৃষ্ঠের যে অংশের বক্রতা যত বেশী সেই অংশে আধানের পরিমাণ তত বেশী হয়। চিত্রে (1.12) বিভিন্ন আকারের পরিবাহীকে তড়িতাহিত করিলে উহাদের পৃষ্ঠদেশে আধানের পরিমাণ কিরূপ হয় তাহা দেখানো



চিত্র 1.12

হইল। পরিবাহীর সীমারেখা হইতে বিভিন্ন স্থানে কাটা লাইনের দূরত্বই আধানের পরিমাণ নির্দেশ করিতেছে (চিত্র 1.12)। দেখা যাইতেছে, একমাত্র গোলাকার পরিবাহীর ক্ষেত্রেই আধানের পরিমাণ সর্বত্র সমান। অন্যান্যদের ক্ষেত্রে যে অংশে পরিবাহীর বক্রতা যত বেশী আধানের পরিমাণও তত বেশী।

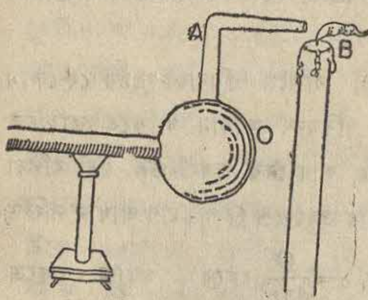
আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব (σ) বলিতে পরিবাহী-পৃষ্ঠের যে-কোন বিন্দুর চতুর্দিকে একক ক্ষেত্রফলে যে পরিমাণ আধান থাকিবে তাহাকে বুঝায়। গোলাকার পরিবাহীর ক্ষেত্রে আধানের সুষম-বণ্টন হয় বলিয়া r-ব্যাসার্ধযুক্ত কোন গোলাকার পরিবাহীর তলদেশে Q পরিমাণ আধান সঞ্চিত হইলে ইহার আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব, $\sigma=\frac{Q}{4\pi r^2}$ হইবে। অন্যান্য ক্ষেত্রে পরিবাহীর অসম আকৃতির দরুণ আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বিভিন্ন হইবে। একটি আধান-পরীক্ষক ও একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণের সাহায্যে পরিবাহীর তলের বিভিন্ন অংশে আধানের পরিমাণ জানা যায়। পরীবাহীর বক্র বা সূঁচাল অংশ হইতে আধান-পরীক্ষক দ্বারা সংগৃহীত আধান তড়িৎ-বীক্ষণের স্বর্ণপত্রদ্বয়ে অধিক মাত্রায় বিস্ফারণ ঘটাইবে।

1.9a. সূচ্যগ্র পরিবাহীর ক্রিয়া (Action of pointed conductors) :

আমরা জানি, কোন পরিবাহীর সূচ্যগ্র প্রান্তে তড়িতাধান বেশী পরিমাণে জমা হয়। খুব অল্প জায়গায় বেশী পরিমাণ আধান জমা হওয়ার ফলে ইহার চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ুকণাগুলিও তড়িতাহিত হইয়া পড়ে। বায়ুকণা ও পরিবাহীর তড়িৎ সমজাতীয় হওয়ায় উহাদের মধ্যে বিকর্ষণ ঘটে। ফলে তড়িতাহিত বায়ুকণাগুলি দূরে সরিয়া যায়। তখন নতুন বায়ুকণা দ্বারা ঐ শূন্যস্থান পূর্ণ হয় এবং পরমুহূর্তে ইহারাও তড়িতাহিত হইয়া দূরে বিকর্ষিত হয়। এইভাবে বায়ু-স্তরের একটি প্রবাহ চলিতে থাকে। ইহাকে **তড়িৎ বাত্যা** (electric wind) বলে। ইহার ফলে সূচাগ্র প্রান্ত ক্রমশঃ তড়িৎ হারায়। ইহাকে **তড়িৎ-মোক্ষণ** (electric discharge) বলে।

সূচ্যগ্র পরিবাহীর দ্বারা সৃষ্ট তড়িৎ-বাত্যা নিম্নলিখিত পরীক্ষার সাহায্যে দেখানো যাইতে পারে। A একটি সূচ্যগ্র পরিবাহী (চিত্র 1.13)। ইহার সূচীমুখের সম্মুখে একটি মোমবাতির শিখা (B) রাখা আছে। পরিবাহীটি নিস্তড়িৎ থাকিলে মোমবাতির শিখাটি স্থির হইয়া খাড়াভাবে জ্বলিবে। এখন

কোন বৈদ্যুতিক যন্ত্রের সাহায্যে পরিবাহীটিকে তীব্র তড়িতাহিত করিলে শিখাটিকে বিপরীত দিকে হেলিয়া পড়িতে দেখা যাইবে। কারণ, পরিবাহীর সূচীমুখ হইতে তড়িৎ-মোক্ষণ শুরু হইবে এবং নিকটস্থ বায়ুকণাগুলি সম-তড়িৎ দ্বারা আহিত হইয়া বিপরীত দিকে বিকর্ষিত হইবে। ফলে, ইহার সম্মুখে বিপরীতদিকে এক বায়ুপ্রবাহের সৃষ্টি হইবে এবং মোমবাতির শিখা সেই বায়ুপ্রবাহের ধাক্কায় হেলিয়া পড়িবে। ইহাকেই তড়িৎ বাত্যা বলে।



চিত্র 1.13

সূচ্যগ্র পরিবাহীর এই ধর্মই বজ্র-নিবারক দণ্ডের সাহায্যে (lightning conductor) সুউচ্চ অট্টালিকাকে বজ্রপাতের হাত হইতে রক্ষা করে। তড়িতাহিত মেঘ বজ্র-নিবারক দণ্ডের সূচীমুখে অধিকমাত্রায় তড়িৎ দান করে এবং ঐ তড়িৎ দণ্ডের মধ্য দিয়া পৃথিবীতে চলিয়া যায়।

প্রশ্নাবলী

1. কোন বস্তু তড়িতাহিত বলিতে কি বুঝায়? ঘর্ষণে কিভাবে তড়িৎ সৃষ্টি হয় তাহার দুইটি পরীক্ষা দেখাও।

[What is meant by the statement that a body is electrically charged ? Narrate two experiments of electrification by rubbing.]

2. তড়িৎ কয় প্রকারের এবং উহাদের মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়া কিরূপ তাহা একটি সহজ পরীক্ষা দ্বারা বোঝাও। কোন নির্দিষ্ট বস্তুতে কি এক প্রকারেরই তড়িৎ সৃষ্টি হয়?

[What are the different kinds of electricity ? Device an experiment to illustrate the mutual action between them. Is only one kind of electricity is produced in one material?]

3. তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্র কি? একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বিক্ষণের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

[What is an electroscope ? Describe the construction and working principle of a gold-leaf electroscope.]

4. কোন পরিবাহীর তড়িতাবস্থা সঠিকভাবে নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[Describe a method of determining correctly the electrical nature of a conductor.]

5. পরিবাহী ও অপরিবাহী পদার্থ বলিতে কি বোঝায়? ইহাদের বিভিন্ন ব্যবহার বর্ণনা কর। ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব অনুযায়ী কিভাবে ইহাদের ব্যবহারের ব্যাখ্যা করা যায়?

[What is the difference between a conductor and an insulator? Explain different uses of them. How their behaviours can be explained by electron theory?]

6. তড়িতাবেশ বলিতে কি বোঝায়? আবেশে সৃষ্ট তড়িতের প্রকৃতি কিভাবে নির্ণয় করিবে? মুক্ত আবিষ্ট আধান ও বদ্ধ আবিষ্ট আধান বলিতে কি বোঝায়?

[What is electrostatic induction? How the nature of the electrical charges produced by induction can be identified? What are the free induced charge and bound induced charge?]

7. একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণকে কিভাবে আবেশের দ্বারা ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িতাহিত করা যায় চিত্রসহ বর্ণনা কর।

[Explain with diagrams how a gold-leaf electroscope can be charged both positively and negatively by eletrostatic induction.]

8. 'আহিত পরিবাহীর আধান পরিবাহীর উপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে' —দুইটি পরীক্ষার সাহায্যে এই উক্তির ব্যাখ্যা কর।

['Charge resides on the outside surface of a conductor.' —Explain the statements with two experiments.]

9. আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বলিতে কি বোঝায়? এই পরিপ্রেক্ষিতে সূচাগ্র পরিবাহীর ক্রিয়া প্রদর্শনের একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

[What is meant by surface density of charge? In this connection describe an experiment illustrating the action of a pointed conductor.]

———

দ্বিতীয় অধ্যায়

তড়িৎ-ক্ষেত্র ও তড়িৎ-বিভব

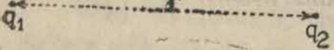
(Electric Field and Electric Potential)

2.1. দুইটি তড়িতাধানের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক : কুলম্বের সূত্র (Relation between two electric charges : Coulomb's law) :

কোন চুম্বকের চারিপাশে যেমন চৌম্বক-ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়, কোন তড়িতাহত বস্তুর চারিপাশে তেমনি তড়িৎ-ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। এই তড়িৎ-ক্ষেত্রের সীমার মধ্যে অন্য কোন তড়িতাহিত বস্তু আনিলে উভয় বস্তুই তাহাদের নিজস্ব তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রভাব বিস্তার করে। ফলে তড়িতাহিত বস্তু দুইটির মধ্যে এক তড়িৎ-বল ক্রিয়া করে। আমরা জানি, সম-তড়িৎ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে ও বিষম-তড়িৎ পরস্পরকে আকর্ষণ করে। এই নিয়মে তড়িতাহিত বস্তু দুইটির মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ-বলের পরিমাণ কত হইবে বিজ্ঞানী **কুলম্ব** (Coulomb) তাহা সর্বপ্রথম নির্ধারণ করেন 1777 খ্রীষ্টাব্দে। সেইজন্য এই নিয়মকে **কুলম্বের সূত্র** (Coulomb's law) বলা হয়। সূত্রটি নিম্নরূপ :

দুইটি বিন্দু-তড়িতাধানের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ-বলের পরিমাণ আধান দুইটির গুণফলের সমানুপাতিক এবং উহাদের মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

ধরা যাক, q_1 ও q_2 আধানযুক্ত দুইটি বিন্দু-তড়িতাধান পরস্পর হইতে r দূরত্বে আছে (চিত্র 2.1)। যদি উহাদের পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ-বল F হয়, তবে কুলম্বের



চিত্র 2.1

নিয়মানুসারে, $F \propto q_1 q_2$ এবং $F \propto \frac{1}{r^2}$

$$\therefore\ F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}, \text{ বা } F = \frac{1}{k} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}।$$

এখানে $\frac{1}{k}$ আনুপাতিক ধ্রুবক (Constant of proportionality)। k-এর মান মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে এবং ইহাকে মাধ্যমের পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবক (dielectric constant) বা মাধ্যমের ভেদন-যোগ্যতা (permittivity) বলে। বায়ুমাধ্যমে ইহার মান 1 ধরা হয়। সেক্ষেত্রে ইহাদের ভিতর আকর্ষণ বা বিকর্ষণ-বল, $F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$ হইবে।

কুলম্বের সূত্রে, $F \propto \frac{1}{r^2}$, অর্থাৎ কার্যকরী তড়িৎ-বল তড়িতাধান দুইটির মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক বলিয়া ইহাকে **ব্যস্তবর্গের সূত্র** (law of inverse square) বলা হয়।

একক আধান (Unit charge) : কুলম্বের সূত্র হইতে আমরা আধানের স্থির-তড়িৎ একক (electrostatic unit of charge বা সংক্ষেপে e. s. u.) নির্ণয় করিতে পারি। এখন, $F=\frac{q_1q_2}{r^2}$ সমীকরণে যদি $F=1$ ডাইন, $r=1$ সে.মি. এবং $q_1=q_2=q$ হয় তবে, $q^2=1$ বা $q=\pm1$। অর্থাৎ,

দুইটি সমপরিমাণ ও সমজাতীয় আধান যদি বায়ু-মাধ্যমে এক সে.মি. দূরে থাকিয়া পরস্পরের প্রতি এক ডাইন বিকর্ষণ-বল প্রয়োগ করে তবে উহাদের প্রত্যেককে একক আধান বলে।

এই একককে সি. জি. এস্. স্থির-তড়িৎ একক (e. s. u.) বলা হয়। ইহার মান খুব কম বলিয়া আধানের একটি ব্যবহারিক একক প্রচলিত আছে। ইহার নাম **কুলম্ব** (Coulomb)। ইহা সি. জি. এস্. একক অপেক্ষা 3×10^9 গুণ বড় (1 কুলম্ব $=3\times10^9$ e. s. u.)।

স্থির-তড়িৎ একক ছাড়া আধানের অন্য একক আছে। ইহাকে **তড়িৎ-চুম্বকীয় একক** (electro-magnetic unit বা সংক্ষেপে e. m. u.) বলে। ইহা কুলম্ব অপেক্ষা 10 গুণ বড় (1 e.m.u.$=3\times10^{10}$ e. s. u.$=10$ কুলম্ব)।

2.2. তড়িৎ প্রাবল্য (Electric intensity) :

কোন তড়িতাহিত বস্তুর চতুর্দিকে কিছুদূর পর্যন্ত ইহার প্রভাব বিস্তৃত থাকে। এই প্রভাবসীমার অঞ্চলকে বস্তুটির তড়িৎ-ক্ষেত্র বলে। **তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন এক বিন্দুতে কোন একক ধনাত্মক আধান রাখিলে উহা যে বল অনুভব করে তাহাকে ঐ বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা ক্ষেত্র-প্রাবল্য বলে।** একক আধানটি যে অভিমুখে বল অনুভব করিবে তাহাই হইবে ঐ বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখ। সি. জি. এস্.-পদ্ধতিতে ঐ প্রাবল্য ডাইন প্রতি একক আধানে (dynes per unit charge) পরিমাপ করা হয়।

ধরা যাক্, q আধানযুক্ত কোন বস্তু হইতে r দূরে কোন বিন্দুতে একটি একক আধান রাখা আছে। অতএব ঐ বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্যের মান হইবে, $F=\frac{1}{k}.\frac{q\times1}{r^2}=\frac{q}{kr^2}$। বায়ুমাধ্যমে $k=1$ ধরিলে, ঐ বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্য,

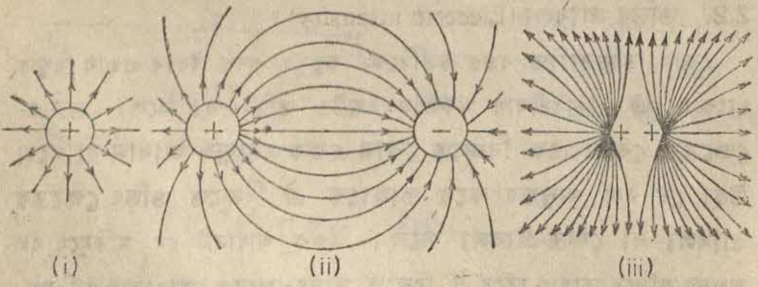
$F = \frac{q}{r^2}$। ক্ষেত্র-প্রাবল্যের মান ও অভিমুখ দুই-ই থাকায় ইহা একটি ভেক্টর রাশি।

একক আধানের পরিবর্তে যদি ঐ বিন্দুতে q_1 আধান রাখা হয় তবে ইহার উপর প্রযুক্ত বল হইবে, $F_1 = F.q_1$ অর্থাৎ, **তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে রক্ষিত কোন আধানের উপর প্রযুক্ত বল=ঐ বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্য ×আধানের মান।**

2.3. তড়িৎ বলরেখা (Electric lines of force) :

তড়িৎ-ক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে তড়িৎ-প্রাবল্যের মান ও অভিমুখ বিভিন্ন। তড়িৎ-বলরেখা বলিতে এমন রেখা বুঝায়, **যে রেখা বরাবর কোন বাধাহীন বিচ্ছিন্ন একক ধনাত্মক আধান গমন করে এবং উক্ত রেখার যে-কোন বিন্দুতে স্পর্শক** (tangent) **টানিলে উক্ত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে লব্ধ ক্ষেত্র-প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করে।** তড়িৎ বলরেখার এই সংজ্ঞা চৌম্বক বলরেখার অনুরূপ। ফলে, উভয় বলরেখার ধর্মগুলির মধ্যে অনেক মিল রহিয়াছে। চৌম্বক বলরেখা অঙ্কন-পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া তড়িৎ-বলরেখাও আঁকা যায়।

তড়িৎ-বলরেখা হইতেও কোন বিন্দুতে তড়িৎ-প্রাবল্যের সংজ্ঞা পাওয়া যায়। ঐ বিন্দুর চতুর্দিকে তড়িৎ-বলরেখাসমূহের সমকোণে অবস্থিত একক



চিত্র 2.2

ক্ষেত্রের মধ্য দিয়া যতগুলি বলরেখা যায় তাহাদের সংখ্যাই ঐ বিন্দুতে তড়িৎ-প্রাবল্যের মান।

চিত্রে কয়েকটি বিশেষ ক্ষেত্রে বলরেখার আকৃতি দেখানো হইল (চিত্র 2.2)। 2.2 (i) চিত্রে একটি বিচ্ছিন্ন ধনাত্মক আধানযুক্ত গোলকের বলরেখাগুলি দেখানো হইয়াছে। 2.2 (ii) চিত্রের বলরেখাগুলি দুইটি সমপরিমাণ

কিন্তু বিপরীতধর্মী তড়িতাধানের দরুণ। 2.2 (iii) চিত্রের বলরেখাগুলি দুইটি সমপরিমাণ ও সমধর্মী বিন্দু-তড়িতাধানের দরুন। চৌম্বক বলরেখার ক্ষেত্রে উদাসীন বিন্দুর ন্যায় এক্ষেত্রেও অনুরূপ উদাসীন বিন্দু পাওয়া যাইবে।

2.4. তড়িৎ-বিভব (Electrostatic Potential) :

আমরা জানি, কোন তড়িতাহিত পরিবাহীকে অনাহিত কোন পরিবাহীর সংস্পর্শে আনিলে অনাহিত পরিবাহীটি তড়িতাহিত পরিবাহী হইতে কিছু আধান সংগ্রহ করে। যদি পরিবাহী দুইটি একই ধরনের হয় তবে যতক্ষণ পর্যন্ত না উভয়ের আধান সমান হয় ততক্ষণ এই হস্তান্তর চলিতে থাকিবে।

অতএব, **কোন পরিবাহী তড়িৎগ্রস্ত হইলে উহাতে এমন এক তড়িতাবস্থার সৃষ্টি হয় যাহার দ্বারা বোঝা যায় পরিবাহীটি অন্য কোন পরিবাহীকে আধান দান করিবে।** পরিবাহীর এই তড়িতাবস্থাকে উহার **বিভব** (Potential) বলে।

উপরি-উক্ত উদাহরণে, তড়িতাহিত পরিবাহীটি উচ্চ-বিভবসম্পন্ন এবং অনাহিত পরিবাহীটি নিম্ন-বিভবসম্পন্ন। ফলে প্রথম পরিবাহীটি দ্বিতীয় পরিবাহীকে আধান হস্তান্তরিত করিয়া উভয়ে সম-বিভবসম্পন্ন হইবে। দুইটি তড়িতাহিত পরিবাহীর মধ্যে সংযোগ স্থাপন করিলে উচ্চ-বিভবসম্পন্ন পরিবাহী হইতে নিম্ন-বিভবসম্পন্ন পরিবাহীতে আধান প্রবাহ তথা তড়িৎপ্রবাহ ততক্ষণ চলিতে থাকিবে যতক্ষণ না উভয়েরই তড়িৎ-বিভব সমান হয়। অবস্থাটা উচ্চ-তল হইতে নিম্নতলে জলপ্রবাহের মত। এক্ষেত্রে জলের চাপের প্রভেদের জন্য জলপ্রবাহ ঘটে। তড়িৎপ্রবাহে তেমনি দুইটি তড়িতাহিত বস্তুর মধ্যে **বিভব-প্রভেদ** (Potential difference) থাকিলেই তড়িৎ-চাপের সৃষ্টি হয় এবং তড়িৎপ্রবাহ উচ্চ-বিভবসম্পন্ন বস্তু হইতে নিম্ন-বিভবসম্পন্ন বস্তুর দিকে হইয়া থাকে। জলপ্রবাহে যেমন দুই পাত্রের জলতল সমান হইয়া গেলেই উহাদের মধ্যে জলপ্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়, তড়িৎপ্রবাহে তেমনি উভয় বস্তুর মধ্যে তড়িৎ-বিভব সমান হইয়া গেলেই তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়।

তড়িৎ-বিভবের সঙ্গে তাপমাত্রারও অনুরূপ সাদৃশ্য আছে। ভিন্ন তাপমাত্রার দুইটি বস্তুর মধ্যে সংযোগ ঘটিলে তাপ উচ্চ-তাপমাত্রাযুক্ত বস্তু হইতে নিম্ন-তাপমাত্রার বস্তুতে প্রবাহিত হইবে এবং যতক্ষণ না উভয়ের তাপমাত্রা সমান হয় ততক্ষণ এই তাপপ্রবাহ চলিবে। একই নিয়মে তড়িৎপ্রবাহও উচ্চ-বিভবসম্পন্ন বস্তু হইতে নিম্ন-বিভবসম্পন্ন বস্তুতে চলিবে যতক্ষণ না উভয়ের তড়িৎ-বিভব সমান হয়।

2.4a. তড়িৎ-বিভবের পরিমাপ (Measure of Potential) :

অসীম দূরত্ব হইতে একটি একক ধনাত্মক আধানকে কোন তড়িৎ-ক্ষেত্রের একটি নির্দিষ্ট বিন্দু পর্যন্ত আনিতে যে পরিমাণ কাজ করিতে হয় তাহাকেই ঐ বিন্দুর তড়িৎ-বিভব বলে।

তড়িৎ-ক্ষেত্র যদি ধনাত্মক তড়িতের দরুন হয় তবে একক ধনাত্মক আধানকে বিকর্ষণের বিরুদ্ধে কাজ করিতে হয় এবং সেক্ষেত্রে ঐ বিন্দুর বিভব ধনাত্মক ধরা হয়। আর, তড়িৎ-ক্ষেত্র যদি ঋণাত্মক তড়িতের দরুন হয়, তবে আকর্ষণ-বল কাজ করে বলিয়া ঐ বিন্দুর বিভব ঋণাত্মক ধরা হয়।

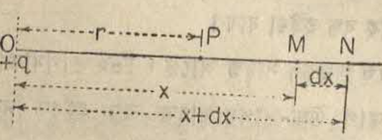
তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে বিভব V হইলে অসীম দূরত্ব হইতে ঐ বিন্দু পর্যন্ত কোন একক ধনাত্মক আধান আনিতে V একক কাজ করিতে হয়। ঐ বিন্দুতে $+q$ একক আনিতে যদি কাজের পরিমাণ W হয় তবে, $W = V \times q$.

2.4b. তড়িৎ-বিভবের একক (Unit of Potential) :

বিভব ও আধানকে e. s. u.-এ পরিমাপ করিলে কাজের একক হয় আর্গ। অসীম দূরত্ব হইতে 1 e. s. u. ধনাত্মক আধানকে তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনিতে যদি 1 আর্গ কাজ করিতে হয় তবে ঐ বিন্দুর তড়িৎ-বিভবকে 1 e. s. u. বিভব বলে। বিভবের ব্যবহারিক এককের নাম **ভোল্ট** (Volt)। অসীম হইতে 1 কুলম্ব ধনাত্মক তড়িতাধানকে তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনিতে যদি 1 জুল (Joule) বা 10^7 আর্গ কাজ করিতে হয় তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে 1 ভোল্ট বলে। প্রমাণ করা যায়, 1 ভোল্ট $= 1/300$ e. s. u. বিভব।

2.4c. বিন্দু-তড়িতাধানের তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে বিভবের পরিমাপ (Measure of potential at a point in an electric field due to a point charge) :

ধরা যাক্, O বিন্দুতে q তড়িতাধান রাখা আছে এবং O বিন্দু হইতে r দূরে অবস্থিত P বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করিতে হইবে (চিত্র 2.3)। O ও P বিন্দুদ্বয় যোগ করিয়া একটি রেখা টানিয়া ইহার উপর দুইটি খুব কাছা-কাছি বিন্দু M ও N লওয়া হইল। O হইতে এই বিন্দুদ্বয়ের দূরত্ব যথাক্রমে x ও $x+dx$।



চিত্র 2.3

এখন $+q$ তড়িতাধানের দরুণ M বিন্দুতে প্রাবল্য$=\frac{q}{kx^2}$ (k=পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক)।

M ও N বিন্দুদ্বয়ের বিভব-পার্থক্য dV হইলে বিভবের সংজ্ঞানুযায়ী, dV=এক একক ধনাত্মক তড়িতাধানকে N হইতে M বিন্দুতে আনিতে কৃত-কার্য=এক একক তড়িতাধানের উপর বল×উহার সরণ$=-\frac{q}{kx^2}\times dx$ [ঋণাত্মক চিহ্ন লওয়ার কারণ প্রাবল্য ও সরণ বিপরীতমুখী]।

এখন অসীম (∝) হইতে r পর্যন্ত সীমার মধ্যে এক একক ধনাত্মক তড়িতাধানকে আনিতে কৃতকার্যই P বিন্দুর বিভব (V)-এর মান। ইহা পাইতে হইলে $\left[-\frac{q}{kx^2}\times dx\right]$-কে উপরি-উক্ত সীমার মধ্যে ইন্‌টিগ্রেট করিতে হইবে। অর্থাৎ,

$$V=-\int_{\infty}^{r}\frac{q}{kx^2}\times dx=-\frac{q}{k}\int_{\infty}^{r}\frac{1}{x^2}\,dx=-\frac{q}{k}\left[-\frac{1}{x}\right]$$

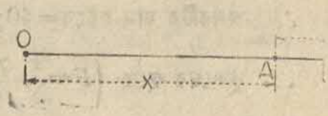
$$=\frac{q}{kr}\quad\left[\because\ \frac{1}{\infty}=0\right]$$

বায়ুমাধ্যম হইলে, $k=1$.

সেক্ষেত্রে, $V=\frac{q}{r}=\frac{\text{তড়িতাধান}}{\text{দূরত্ব}}$।

2.5. তড়িৎ-প্রাবল্য ও বিভবের মধ্যে সম্পর্ক (Relation between electrostatic intensity and potential) **:**

ধরা যাক, কোন ক্ষুদ্র তড়িতাহিত বস্তু হইতে কিছু দূরে দুইটি বিন্দু A ও B খুব কাছাকাছি অবস্থিত এবং ইহারা বস্তুটি হইতে যথাক্রমে x ও $x+dx$ দূরে অবস্থিত (চিত্র 2.4)। ধরা যাক, তড়িৎ-ক্ষেত্রের দরুণ A ও B বিন্দুতে বিভব যথাক্রমে V_a ও V_b এবং খুব কাছাকাছি অবস্থিত বলিয়া উভয় বিন্দুতেই ক্ষেত্র-প্রাবল্য F। অতএব



চিত্র 2.4

বিন্দু দুইটির বিভব-পার্থক্য$=V_a-V_b=+dV$ ধরা যাক। বিভবের সংজ্ঞা অনুসারে ইহাই (dV) হইল B বিন্দু হইতে A বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধান লইতে কৃতকার্য।

আবার প্রাবল্যের সংজ্ঞা হইতে B বিন্দু হইতে A বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধান লইতে কৃতকার্য $= -F.dx$ ($\because$ কার্য = বল × সরণ)। ঋণাত্মক চিহ্ন হওয়ার কারণ সরণ ও প্রাবল্য বিপরীতমুখী।

$$\therefore \quad -F.dx = dV \text{ বা } F = -\frac{dV}{dx}।$$

ইহাই হইল প্রাবল্য ও বিভবের মধ্যে সম্পর্ক। $\frac{dV}{dx}$-কে বিভবের নতিমাত্রা (potential gradient) বলে। অতএব **কোন বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্যের মান ঐ বিন্দুর বিভবের ঋণাত্মক নতিমাত্রার সমান।**

উদাহরণ (Examples) :

(1) দুইটি অন্তরিত তামার বলে যথাক্রমে +12 ও +8 *e. s. u.* তড়িতাধান আছে এবং ইহারা বায়ুমাধ্যমে 8 সে. মি. দূরত্বে অবস্থিত। ইহাদের মধ্যে যে বল ক্রিয়া করিবে তাহার মান নির্ণয় কর।

উত্তর : কুলম্বের সূত্র হইতে আমরা জানি, $F = \frac{1}{k} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$।

এখানে, $q_1 = +12$, $q_2 = +8$, $r = 8$ এবং $k = 1$

$$\therefore \quad F = \frac{1}{1} \cdot \frac{12 \times 8}{8^2} = \frac{12}{8} = \frac{3}{2} = 1{\cdot}5 \text{ ডাইন।}$$

$\therefore$ উভয়ের মধ্যে **বিকর্ষণ-বলের পরিমাণ 1·5 ডাইন।**

(2) দুইটি অন্তরিত ছোট ধাতব বলে একই ধরনের তড়িতাধান আছে। একটির আধানের পরিমাণ অন্যটির 40 গুণ এবং ইহারা বায়ুমাধ্যমে 10 সে.মি. দূরে আছে। উভয়ের মধ্যে বিকর্ষণ-বলের পরিমাণ 2 গ্র্যাম-ভর হইলে তড়িতাধান দুইটির মান নির্ণয় কর।

উত্তর : ধরা যাক্‌, একটি আধানের মান $= q$

$\therefore$ অপরটির মান হইবে $= 40q$.

$\therefore$ কুলম্বের সূত্রে $\left(F = \frac{1}{k} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}\right)$, $q_1 = q$, $q_2 = 40q$, $r = 10$ সে. মি., $k = 1$ এবং $F = 2$ গ্র্যাম-ভর।

$$\therefore \quad 2 \text{ গ্র্যাম-ভর} = \frac{1}{1} \cdot \frac{q \times 40q}{10^2}$$

$$\text{বা} \quad 2 \times 980 = \frac{40q^2}{10^2} \quad (g = 980 \text{ সে. মি./সে.}^2)$$

$$\therefore \quad q^2 = \frac{2 \times 980 \times 10^2}{40} = 49 \times 10^2 = 7^2 \times 10^2$$

$$\therefore \quad q = 7 \times 10 = 70 \text{ e. s u.}$$

∴ **একটির আধানের মান 70** *e. s. u.* এবং অপরটির মান 40 × 70 = **2,800 e. s. u.** ।

(3) 0·1 গ্র্যাম-ভরের ও ঋণাত্মক আধানযুক্ত একটি শোলার বল হইতে অন্য একটি তড়িতাহিত বস্তু 2 সে. মি. উর্ধ্বে থাকিয়া শোলার বলকে শূন্যে স্থির অবস্থায় রাখিয়াছে। শোলার বলে ঋণাত্মক তড়িতের পরিমাণ − 20 *e. s. u.* হইলে তড়িতাহিত বস্তুটিতে তড়িতের পরিমাণ কত? ($g = 980$ সে. মি./সে.^{2})।

উত্তর : তড়িতাহিত বস্তুটি ঋণাত্মক তড়িতাহিত শোলার বলটির উর্ধ্বে থাকিয়া ইহাকে শূন্যে সাম্য অবস্থায় রাখিয়াছে। অতএব বস্তুটি ধনাত্মক তড়িতাহিত হইবে কারণ বিষম তড়িতের আকর্ষণ-বল শোলার বলটির ওজনকে কাটাইয়া ইহাকে ভাসমান অবস্থায় রাখিয়াছে।

ধরা যাক্, বস্তুটির তড়িতের পরিমাণ $= +q$,

∴ কুলম্বের নিয়মে আকর্ষণ-বল $= \frac{20 \times q}{2^2} = 5q$ ডাইন।

∴ $5q = 0{\cdot}1 \times 980$ বা $q = +19{\cdot}6$ e. s. u.

∴ বস্তুটিতে তড়িতের পরিমাণ = **+ 19·6 e. s. u.**

(4) দুইটি পরিবাহী পাতের একটিতে 4000 ভোল্ট ও অন্যটিতে 1000 ভোল্ট বিভবে আহিত করিয়া একটিকে অপরটি হইতে 10 সে. মি. দূরে রাখা হইল। ইহাদের ভিতর যে-কোন বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্য নির্ণয় কর।

উত্তর : প্রথম পাতের বিভব, $V_1 = 4000$ ভোল্ট $= \frac{4000}{300}$ বা $\frac{40}{3}$ e. s. u.

দ্বিতীয় পাতের বিভব, $V_2 = 1000$ ভোল্ট $= \frac{1000}{300}$ বা $\frac{10}{3}$ e.s.u.

আমরা জানি, ক্ষেত্র-প্রাবল্য, $F = \frac{dV}{dx}$ (শুধু মান ধরিয়া) $= \frac{\frac{40}{3} - \frac{10}{3}}{10}$

$$= \frac{40 - 10}{3 \times 10} = 1 \text{ e. s. u.}$$

অতএব দুই পাতের মধ্যবর্তী কোন বিন্দুতে **ক্ষেত্র-প্রাবল্য = 1 e. s. u.** ।

2.6. ধারকত্ব (Capacity or capacitance) **:**

কোন পরিবাহীকে তড়িতাহিত করিলে, উহার পৃষ্ঠের বিভব সর্বত্র সমান হয়। প্রমাণস্বরূপ, পরিবাহীর বিভিন্ন অংশ তড়িৎ-বীক্ষণ যন্ত্রে স্পর্শ করাইলে

ইহার বিস্ফারণ একই দেখাইবে। পরিবাহীটি অসম আকৃতির হইলেও ইহার বিভব সর্বত্র সমান হইবে, যদিও আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সমান হইবে না। পরিবাহী-পৃষ্ঠের বিভব বলিতে অসীম হইতে একক আধানকে পরিবাহী-পৃষ্ঠের খুব নিকটে আনিলে যে পরিমাণ কাজ করিতে হয় তাহাকেই বুঝায়।

এখন, কোন পরিবাহীর তড়িতাধানের পরিমাণ বৃদ্ধি করিলে ইহার বিভবও বৃদ্ধি পায়। কিন্তু বিভিন্ন পরিবাহীর তড়িতাধান গ্রহণ করিবার সামর্থ্য বিভিন্ন; ইহা পরিবাহীর আকার (size), আকৃতি (shape) ও অন্য পরিবাহীর সান্নিধ্য প্রভৃতি কয়েকটি বিষয়ের উপর নির্ভরশীল। বিভিন্ন আকার ও আকৃতির পরিবাহীকে সম-বিভবসম্পন্ন করিতে আধানের পরিমাণ বিভিন্ন লাগে। কোন নির্দিষ্ট পরিবাহীর বেলায় কিন্তু ইহার বিভব সর্বদা আধানের সমানুপাতিক হয়; অর্থাৎ Q পরিমাণ আধান দিলে যদি ইহার বিভব V হয়, তবে $Q \propto V$ বা $Q = C \times V$.

এখানে C একটি ধ্রুবক এবং ইহাকেই পরিবাহীর **ধারকত্ব** বলে। ইহার মান পরিবাহীর আকার, আকৃতি ও অন্য পরিবাহীর সান্নিধ্যের উপর নির্ভর করে। উপরি-উক্ত সমীকরণ হইতে বলা যায়, $C = \frac{Q}{V}$, অর্থাৎ **একক বিভব বৃদ্ধির জন্য পরিবাহীতে যতখানি তড়িতাধান সরবরাহ করিতে হয় তাহাকেই পরিবাহীর ধারকত্ব বলে।**

2.6a. ধারকত্বের একক (Units of capacitance) **:**

উপরের সমীকরণে, $Q = 1$ e. s. u., $V = 1$ e. s. u. হইলে $C = 1$ e.s.u. হইবে। অর্থাৎ **কোন পরিবাহীর বিভব এক একক বৃদ্ধি করিতে যদি এক একক তড়িতাধান সরবরাহ করিতে হয় তবে উহার ধারকত্বকে একক ধারকত্ব বলে।**

ধারকত্বের ব্যবহারিক এককের নাম **ফ্যারাড** (Farad)। এক্ষেত্রে তড়িতাধান কুলম্বে এবং বিভব ভোল্টে প্রকাশিত হয়। এক কুলম্ব তড়িতাধান দিলে যদি পরিবাহীর বিভব-বৃদ্ধি এক ভোল্ট হয়, তবে পরিবাহীর ধারকত্ব হইল এক ফ্যারাড (F)।

$$\text{কাজেই } 1 \text{ ফ্যারাড} = \frac{1 \text{ কুলম্ব}}{1 \text{ ভোল্ট}} = \frac{3 \times 10^9 \text{ e. s. u. তড়িতাধান}}{\frac{1}{300} \text{ e. s. u. বিভব}}$$

$$= 9 \times 10^{11} \text{ e. s. u. ধারকত্ব।}$$

ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ফ্যারাড খুব বড় হওয়ায় **মাইক্রো-ফ্যারাড** (μF) ব্যবহৃত হয়। ইহার মান, $1\mu F = 10^{-6}$ ফ্যারাড$=9\times10^{11}\times10^{-6}=$ 9×10^{5} e. s. u ধারকত্ব।

2.7. পরিবাহীর ধারকত্ব কিসের উপর নির্ভরশীল (Factors determining capacitance) :

আমরা জানি, $C=\frac{Q}{V}$ বা $C \propto \frac{1}{V}$ যখন Q ধ্রুবক। অর্থাৎ আধান অপরিবর্তিত রাখিলে যে সব কারণে পরিবাহীর বিভব পরিবর্তিত হয়, সেই সব কারণে উহার ধারকত্বও পরিবর্তিত হইবে। কারণগুলি নিম্নরূপ :

(i) **পরিবাহীর ক্ষেত্রফল :** পরিবাহীর ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করিলে ইহার বিভব হ্রাস পাইবে ; ফলে ধারকত্ব বাড়িয়া যাইবে।

(ii) **অন্য পরিবাহীর সান্নিধ্য :** পরীক্ষাধীন পরিবাহীর কাছাকাছি অন্য কোন পরিবাহী থাকিলে ইহার ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়। নিকটে কোন ভূ-সংলগ্ন পরিবাহী থাকিলে পরীক্ষাধীন পরিবাহীর ধারকত্ব অনেকাংশে বাড়িয়া যায়।

(iii) **পরিবাহীর চতুষ্পার্শ্বস্থ মাধ্যম :** পরিবাহীর চতুর্দিকে বায়ুর পরিবর্তে অন্য কোন অপরিবাহী মাধ্যম থাকিলে পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়। যদি বায়ু-মাধ্যমে কোন পরিবাহীর ধারকত্ব C_1 হয় এবং অন্য কোন মাধ্যমে ইহার ধারকত্ব C_2 হয়, তবে, $C_2=kC_1$। এখানে k হইল সেই মাধ্যমের **পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক** (dielectric constant)।

2.8. পরিবাহী গোলকের ধারকত্ব (Capacitance of a spherical conductor) :

ধরা যাক্, পরিবাহী গোলকটির ব্যাসার্ধ r এবং ইহার তড়িতাধানের পরিমাণ Q। ইহা বায়ুতে রক্ষিত। এখন Q আধানযুক্ত কোন বিন্দু তড়িতাধান হইতে r দূরে তড়িৎবিভব, $V=\frac{Q}{r}$ (অনুচ্ছেদ 2·4c)। অতএব r ব্যাসার্ধের গোলকের পৃষ্ঠ সমবিভব-সম্পন্ন এবং ইহার মান, $V=\frac{Q}{r}$.

অতএব ঐ গোলকের ধারকত্ব, $C=\frac{Q}{V}=\frac{Q}{Q/r}=r$

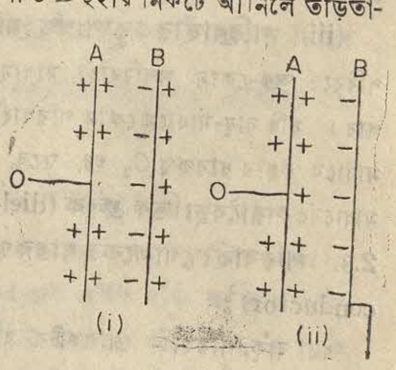
এই নিয়মে যে গোলকের ব্যাসার্ধ 5 সে. মি., তাহার ধারকত্ব$=5$ e. s. u. অর্থাৎ গোলকের ধারকত্ব উহার ব্যাসার্ধের সাংখ্যমানের সমান।

বায়ুমাধ্যম না হইয়া অন্য কোন মাধ্যম হইলে গোলকের ধারকত্বের মান হইবে, $C=kr$ [k=মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক], অর্থাৎ সেক্ষেত্রে গোলকের ধারকত্ব বায়ুমাধ্যমের তুলনায় k গুণ বড়।

2.9. সরল ধারক (Simple capacitor) :

কোন পরিবাহীতে তড়িতাধান বেশী পরিমাণে জমা করিবার কৃত্রিম ব্যবস্থার নাম **ধারক** (capacitor or condenser)। এই ব্যবস্থায় একটি অন্তরিত পরিবাহী (insulated conductor) ও অন্য একটি ভূ-সংলগ্ন পরিবাহী কাছাকাছি রাখিয়া উহাদের ভিতরকার স্থান বায়ু বা অন্য কোন অপরিবাহী মাধ্যম দ্বারা পূর্ণ করা যায়। চিত্রে (চিত্র 2.5) একটি সমান্তরাল পাত ধারক (parallal plate condenser)-এ দুইটি ধাতব পাত মুখোমুখি রাখা আছে। ইহার মূলনীতি নিম্নরূপ :

কার্যপ্রণালী : ধরা যাক্, A একটি অন্তরিত ধাতবপাত (চিত্র 2.5)। তড়িৎযন্ত্রের সাহায্যে ইহাকে তড়িতাধান দিয়া ইহার বিভব $+V$ করা হইল। এখন ইহার অনুরূপ অন্য একটি ধাতব পাত B ইহার নিকটে আনিলে তড়িতাবেশের ফলে B পাতের ভিতরের পৃষ্ঠে ঋণাত্মক আধান ও বাহিরের পৃষ্ঠে ধনাত্মক আধান আবিষ্ট হইবে (চিত্র 2.5i)। এখন B পাতের ঋণাত্মক আধান A পাতের ধনাত্মক বিভবকে কিছু কমাইয়া দিবে কিন্তু B পাতের ধনাত্মক আধান A পাতের ধনাত্মক বিভবকে কিছু বাড়াইতে চেষ্টা করিবে। কিন্তু B পাতের ঋণাত্মক



চিত্র 2.5

আধানযুক্ত পৃষ্ঠ A পাতের বেশী নিকটে থাকায় ইহার প্রভাবই বেশী কার্যকরী হইবে এবং ফলে A পাতের ধনাত্মক বিভব মোটের উপর কিছুটা কমিয়াই যাইবে। ইহার ফলে A পাতের ধারকত্ব কিছুটা বাড়িয়া যাইবে কেননা, ধারকত্ব, $C=\frac{\text{আধান}, Q}{\text{বিভব}, V}$। A পাতের বিভবকে বাড়াইয়া $+V$ করিতে হইলে ইহাকে আরও কিছু তড়িতাধান দিতে হইবে। ফলে বিভব একই থাকিলেও ইহার তড়িতাধান গ্রহণ করিবার ক্ষমতা কিছুটা বৃদ্ধি পাইল।

এখন B পাতকে ভূসংলগ্ন করিলে B পাতের বাহিরের পৃষ্ঠের মুক্ত আবিষ্ট ধনাত্মক আধান পৃথিবীতে চলিয়া যাইবে (চিত্র 2.5 *ii*)। ফলে A পাতে B পাতের ধনাত্মক আধানের কোন প্রভাব আর থাকিবে না অর্থাৎ A পাতের বিভবকে আর বাড়াইতে পারিবে না। ফলে B পাতের ঋণাত্মক আধান A পাতের বিভবকে আরো কমাইয়া দিবে এবং ইহার বিভব পুনরায় $+V$-এর সমান করিতে ইহা আরো বেশী পরিমান তড়িতাধান গ্রহণ করিবে অর্থাৎ ইহার ধারকত্ব আরো বৃদ্ধি পাইবে।

ইহাই হইল সরল ধারকের মূলনীতি। B পাতকে A পাতের দিকে আরো আগাইয়া আনিলে বা দুই পাতের ভিতরকার স্থান বায়ু ছাড়া অন্য-কোন অপরিবাহী মাধ্যম (অভ্র, কাগজ, কাচ প্রভৃতি) দ্বারা পূর্ণ করিলে A পাতের ধারকত্ব আরও বাড়িয়া যাইবে।

উপরের আলোচনায় দেখা গেল যে, কোন পরিবাহীর বিভব বৃদ্ধি না ঘটাইয়া ইহার তড়িৎধারণ ক্ষমতার বৃদ্ধি করাই ধারকের বিশেষত্ব। সাধারণ অবস্থায় কোন পরিবাহীর তড়িৎধারণ করার ক্ষমতার একটি চরম মাত্রা আছে এবং ইহা পরিবাহীর আকার, সাইজ ও মাধ্যম ইত্যাদির উপর নির্ভরশীল। পরিবাহীকে তড়িতাধান দিতে থাকিলে উহার বিভব বৃদ্ধি পাইতে থাকে এবং চরম সীমা ছাড়াইয়া গেলে পরিবাহী হইতে তড়িৎক্ষরণ সুরু হয়। তড়িৎ-ধারকের কাজ হইল পরিবাহীকে নিম্নতর বিভবে রাখিয়া তড়িৎক্ষরণ বন্ধ করা এবং পরিবাহীকে আরো বেশী আধান ধরিয়া রাখিতে সমর্থ করা। ব্যবহারিক ক্ষেত্রে অল্প পরিমাণ স্থানে বেশী আধান জমা থাকিলে অনেক কাজের সুবিধা হয়।

2.9a. ধারকের ধারকত্ব (Capacitance of a capacitor):

ধারকের ধারকত্ব বলিতে অন্তরিত পরিবাহীর ধারকত্বকেই বুঝায়। **ধারকের দুই পরিবাহীর ভিতর একক মাত্রার বিভব-পার্থক্য সৃষ্টি করিতে অন্তরিত পরিবাহীতে যে পরিমাণ তড়িতাধান রাখিতে হয় তাহাকেই ধারকের ধারকত্ব বলে।** অর্থাৎ,

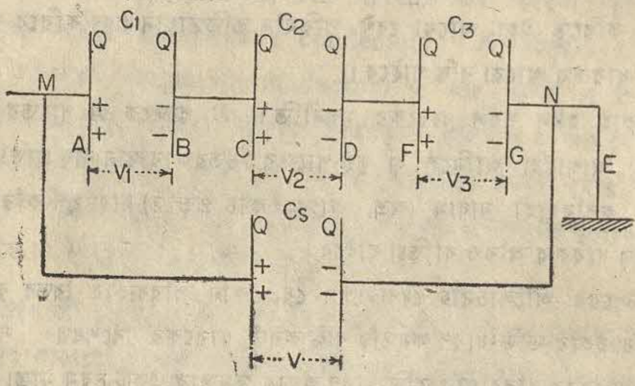
$$\text{ধারকত্ব} = \frac{\text{অন্তরিত পরিবাহীর আধান}}{\text{পরিবাহীদ্বয়ের বিভব-পার্থক্য}}\,।$$

2.10. ধারকের সমবায় (Combination of capacitors):

বিভিন্ন ব্যবহারিক প্রয়োজনে ধারকের সমবায় করার দরকার হয়। সরল সমান্তরাল পাত-ধারকের এরূপ দুইরকম সমবায় এখানে আলোচিত হইল।

(i) **শ্রেণী সমবায় (Series Combination) :**

চিত্রে কয়েকটি সমান্তরাল পাত ধারকের শ্রেণী সমবায় দেখানো হইল (চিত্র 2.6)। এই সমবায়ে প্রথম ধারকের দ্বিতীয় পাতটি (ঋণাত্মক পাতটি) দ্বিতীয় ধারকের প্রথম (ধনাত্মক) পাতের সঙ্গে সংযুক্ত, অনুরূপে দ্বিতীয়



চিত্র 2.6

ধারকের দ্বিতীয় পাতটি তৃতীয় ধারকের প্রথম পাতের সঙ্গে সংযুক্ত। এইভাবে পরপর কয়েকটি ধারক সমবায়ের অন্তর্ভুক্ত করা হয়। এই ব্যবস্থায় শেষ ধারকের দ্বিতীয় পাতটি ভূ সংলগ্ন থাকে, অন্য পাতগুলি সব অন্তরিত।

ধরা যাক্, প্রথম ধারকের ধনাত্মক পাতকে (A) তড়িৎযন্ত্রের সাহায্যে $+Q$ তড়িতাধানে আহিত করা হইল। তড়িতাবেশের ফলে ইহার দ্বিতীয় পাতের (B) ভিতরের দিকে $-Q$ এবং দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাত C-তে $+Q$ আধান আবিষ্ট হইবে। অনুরূপে আবেশের প্রভাব এক ধারক হইতে অন্য ধারকে কার্যকর হইবে। ফলে, প্রত্যেক ধারকের প্রথম পাতে $+Q$ এবং দ্বিতীয় পাতের ভিতরের দিকে $-Q$ তড়িতাধান থাকিবে। শেষ ধারকের দ্বিতীয় পাতের বাহিরের মুক্ত আবিষ্ট আধান ($+Q$) পৃথিবীতে চলিয়া যাইবে।

ধরা যাক্, ধারকগুলির বিভব-প্রভেদ যথাক্রমে V_1, V_2, V_3 ইত্যাদি এবং ধারকত্ব C_1, C_2, C_3 ইত্যাদি। অতএব, $V_1=Q/C_1$, $V_2=Q/C_2$, $V_3=Q/C_3$ ইত্যাদি। এখন সমগ্র সমবায়ের প্রথম পাত A এবং শেষ পাত G-এর মধ্যে বিভব প্রভেদ V এবং সমগ্র সমবায়ের তুল্যাঙ্ক ধারকের ধারকত্ব C_s ধরিলে, $V=Q/C_s$

আবার, $V=V_1+V_2+V_3+\cdots$

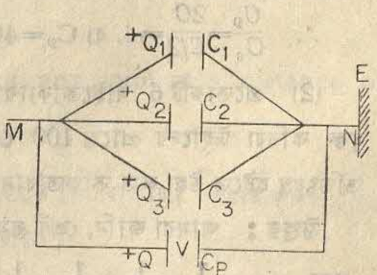
$$\therefore \quad \frac{Q}{C_s}=\frac{Q}{C_1}+\frac{Q}{C_2}+\frac{Q}{C_3}+\cdots$$

$$\text{বা}\ \frac{1}{C_s}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}\cdots=\sum_1^n\frac{1}{C_n}$$

অতএব দেখা গেল, শ্রেণী সমবায়ে ধারকগুলির ধারকত্বের বিপরীত মানের যোগফল তুল্যাঙ্ক ধারকের ধারকত্বের বিপরীত মানের সমান। ফলে তুল্যাঙ্ক ধারকের ধারকত্বের মান সমবায়ের যে কোন ধারকের ধারকত্বের মানের চেয়ে কম হইবে। কিন্তু এই ব্যবস্থায় তুল্যাঙ্ক ধারকের বিভব-প্রভেদ সমবায়ের প্রত্যেকটি ধারকের বিভব-প্রভেদের যোগফল হইবে অর্থাৎ এই ব্যবস্থায় উচ্চ বিভব-প্রভেদ সৃষ্টি করা যায়।

(ii) **সমান্তরাল সমবায়** (Parallel combination) **:**

চিত্রে (চিত্র 2.7) কয়েকটি ধারকের সমান্তরাল সমবায় দেখানো হইল। এই সমবায়ে প্রত্যেকটি ধারকের অন্তরিত পাতগুলি একটি বিন্দুতে (M) মিলিত হয় এবং এই বিন্দুটি তড়িৎ-যন্ত্রের সহিত সংযুক্ত থাকে। অন্য পাতগুলি অন্য এক বিন্দুতে (N) মিলিত হয় এবং এই বিন্দু ভূমিসংলগ্ন থাকে। এই ব্যবস্থায় প্রত্যেক ধারকের একটি পাত তড়িৎ-উৎসের সংলগ্ন ও অন্য পাত ভূমিসংলগ্ন থাকায় প্রত্যেকের বিভব-প্রভেদ একই (V) থাকে। তড়িৎ-যন্ত্র হইতে $+Q$ তড়িতাধান M বিন্দুতে আসিলে ধারকগুলির ধারকত্বের মান (C_1, C_2, C_3) অনুসারে ইহাদের ধনাত্মক পাতগুলিতে ছড়াইয়া পড়ে। ঋনাত্মক পাতগুলিতে তড়িতাবেশে সৃষ্ট মুক্ত আবিষ্ট ধনাত্মক আধান পৃথিবীতে চলিয়া যায়।



চিত্র 2.7

ধারকগুলির তড়িতাধান Q_1, Q_2, Q_3 ইত্যাদি হইলে,

$Q=Q_1+Q_2+Q_3\cdots$ইত্যাদি।

যদি সমগ্র সমবায়ের তুল্যাঙ্ক ধারকের ধারকত্ব C_p হয় তবে, উপরের সমীকরণের স্থলে আমরা লিখিতে পারি,

$C_p.\ V=C_1V+C_2V+C_3V+\cdots$ ইত্যাদি $\left(\text{কারণ } C=\frac{Q}{V}\right)$,

বা $C_p=C_1+C_2+C_3+\cdots$ ইত্যাদি $=\sum_1^n Cn$

অর্থাৎ সমান্তরাল সমবায়ে পৃথক পৃথক ধারকগুলির ধারকত্বের সমষ্টিই তুল্যাঙ্ক ধারকের ধারকত্বের সমান। অতএব এই ব্যবস্থায় তুল্যাঙ্ক ধারকের ধারকত্ব অনেক বেশী হয় কিন্তু ইহার বিভব-প্রভেদ একই থাকে।

উদাহরণ (Examples) :

(1) প্রমাণ কর, দুইটি সমান ধারকের সমান্তরাল সমবায়ে থাকাকালীন ধারকত্ব উহাদের শ্রেণী-সমবায়ে থাকাকালীন ধারকত্বের চারগুণ।

উত্তর : ধরা যাক্, ধারক দুইটির প্রত্যেকের ধারকত্ব $=C$.

উহারা সমান্তরাল সমবায়ে থাকিলে উহাদের তুল্যাঙ্ক ধারকের ধারকত্ব, $C_p=C+C=2C$; আবার শ্রেণীর সমবায়ে ইহাদের তুল্যাঙ্ক ধারকের ধারকত্ব, C_s হইলে, $\frac{1}{C_s}=\frac{1}{C}+\frac{1}{C}=\frac{2}{C}$ বা $C_s=C/2$

$\therefore\ \frac{C_p}{C_s}=\frac{2C}{C/2}=4.$ বা $C_p=4C_s$

(2) প্রত্যেকটি 6 মাইক্রোফ্যারাড-যুক্ত তিনটি ধারককে শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত করিয়া উহাদের প্রান্তে 100 ভোল্টের একটি তড়িৎযন্ত্র যুক্ত করা হইল। তড়িৎযন্ত্র হইতে উহা কত তড়িতাধান গ্রহণ করিবে?

উত্তর : আমরা জানি, শ্রেণী সমবায়ের ক্ষেত্রে,

$\frac{1}{C_s}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}$, এখানে $C_1=C_2=C_3=6\ \mu F$

$\therefore\ \frac{1}{C_s}=\frac{1}{6}+\frac{1}{6}+\frac{1}{6}=\frac{1}{2}\ \mu F,$

বা $C_s=2\ \mu F=2\times10^{-6}F=$ তুল্যাঙ্ক ধারকের ধারকত্ব।

আবার, তুল্যাঙ্ক ধারকের প্রান্তে বিভব প্রভেদ, $V=100$ ভোল্ট।

$\therefore\ C_s=\frac{Q}{V}$ হইতে $Q=C_s\times V=2\times10^{-6}\times100$ কুলম্ব

$=2\times10^{-4}$ কুলম্ব

$\therefore$ তুল্যাঙ্ক ধারকের তড়িতাধান $=2\times10^{-4}$ কুলম্ব।

অর্থাৎ সমবায়টি তড়িৎযন্ত্র হইতে **2×10^{-4} কুলম্ব** তড়িতাধান গ্রহণ করিবে।

প্রশ্নাবলী

1. দুইটি তড়িতাধানের ভিতরকার বল-সম্পর্কিত ব্যস্তবর্গ সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর। ইহা হইতে তড়িতাধানের একক ও মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের সংজ্ঞা লিখ।

[State and explain the inverse square law of force between two electric charges and hence define the unit of charge and also dielectric constant of the medium.]

2. তড়িৎ-প্রাবল্য ও তড়িৎ-বিভবের সংজ্ঞাসহ ব্যাখ্যা কর। তড়িৎ-ক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে তড়িৎ-বিভবের সহিত ঐ বিন্দুর তড়িৎ-প্রাবল্যের সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

[State and explain electric intensity and electric potential. Deduce the relation between electric intensity and electric potential at a point in an electric field.]

3. প্রমাণ কর যে, Q বিন্দু তড়িতাধান হইতে r সে.মি. দূরে কোন বিন্দুতে বিভব $=\frac{Q}{r}$.

[Show that the potential at any point at a distance of r cms. from a point charge, Q is $\frac{Q}{r}$.]

4. কোন পরিবাহীর ধারকত্ব বলিতে কি বোঝায়? ইহার একক কি? পরিবাহীর ধারকত্ব কিসের উপর নির্ভরশীল?

[What is meant by capacitance of a conductor ? What is the unit of capacitance ? What factors govern the capacitance of a conductor ?]

5. প্রমাণ কর যে, কোন পরিবাহী গোলকের ধারকত্ব গোলকের ব্যাসার্ধের সমানুপাতিক।

[Prove that for a spherical conductor the capacity is proportional to the radius.]

6. একটি সরল ধারকের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর ও ধারকের ধারকত্বের সংজ্ঞা লিখ।

[Explain the working principle of a simple capacitor and define the capacitance of the capacitor.]

7. শ্রেণী সমবায় ও সমান্তরাল সমবায়ে পাত-ধারকের ধারকত্ব নির্ণয় কর। ইহাদের ধারকত্বের মধ্যে পার্থক্য কি ?

[Deduce expressions for the capacitance of a series and parallal combination of plate capacitors. What is the difference between these two values ?]

8. (i) দুইটি তড়িতাহিত বস্তুর একটিতে +40 e. s. u. ও অন্যটিকে −90 e. s. u. তড়িতাধান আছে। ইহাদের মধ্যকার দূরত্ব 4 সে.মি.। ইহাদের সংযোগকারী সরলরেখার কোন্ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান শূন্য হইবে ?

[Two charged bodies of one having +40 e. s u. and the other having −90 e. s. u. of charges are kept in air at a distance of 4 cms. At what point on the line joining them will the electric intensity be zero ?]

[Ans : +40 e. s. u. হইতে −90 e. s. u.-এর দিকে 1·6 সে.মি. দূরে এবং +40 e. s. u. হইতে বিপরীত দিকে 8 সে.মি. দূরে]

(ii) +80 এবং −70 e. s. u. তড়িতাধান পরস্পর হইতে 25 সে.মি. দূরে থাকিয়া 4 ডাইন আকর্ষণ-বল প্রয়োগ করে। মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক নির্ণয় কর।

[The forces of attraction between two charges +80 and −70 e. s. u. separated at a distance of 25 cms is 4 dynes. Find the value of the dielectric constant of the medium.]

[Ans : 2·15]

(iii) 10 এবং 30 মাইক্রোফ্যারাডের দুইটি ধারককে শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত করিয়া ইহাদের প্রান্তে 400 ভোল্ট বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করা হইল। প্রত্যেক ধারকের প্রান্তে বিভব-প্রভেদ নির্ণয় কর।

[A potential difference of 400 volts is applied between the ends of two capacitors of 10 and 30 micro farads capacity connected in series. Find the potential difference across each capacitor.] [A : $V_1=300$ volts, $V_2=100$ volts]

[Hints : $\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$; then $C\times V=Q$;

then $\frac{Q}{C_1}=V_1$, $\frac{Q}{C_2}=V_2$]

তৃতীয় অধ্যায়

তড়িৎযন্ত্রাদি (Electric machines)

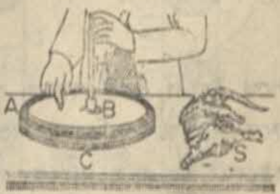
3.1. সূচনা (Introduction) :

যে যান্ত্রিক ব্যবস্থায় নিরবচ্ছিন্নভাবে প্রচুর পরিমাণ তড়িতাধান উৎপন্ন করা যায় তাহাকে তড়িৎযন্ত্র বলে। ইহারা সাধারণতঃ দুই প্রকারের হয় :—(i) **ঘর্ষণযন্ত্র** (Frictional machines) ও (ii) **আবেশযন্ত্র** (Induction machines)। ঘর্ষণযন্ত্রের বর্তমান যুগে আর প্রচলন নাই। ফলে বর্তমানে প্রচলিত সমস্ত তড়িৎযন্ত্রই আবেশ যন্ত্র। এইরূপ দুইটি যন্ত্রের এখানে আলোচনা করিব। ইহারা হইল, (i) **ইলেকট্রোফোরাস** (Electrophorous) ও (ii) **ভ্যান-ডি-গ্রাফ্ জেনারেটার** (Van-de-Graaff Generator)।

3.2. ইলেক্‌ট্রোফোরাস (Electrophorous) :

ইলেক্‌ট্রোফোরাস হইল তড়িতাধান সৃষ্টির একটি সহজতম যান্ত্রিক ব্যবস্থা। ইহার বিভিন্ন অংশগুলি নিম্নরূপ :

(i) **সংগ্রাহক** B (Collector or Cover) : চিত্রে (চিত্র 3.1) B একটি ধাতুনির্মিত চাকৃতি ; ইহা একটি অন্তরিত হাতল H-এর সঙ্গে সংযুক্ত। ইহার কাজ আধান সংগ্রহ করা—সেজন্য ইহাকে সংগ্রাহক বলে।



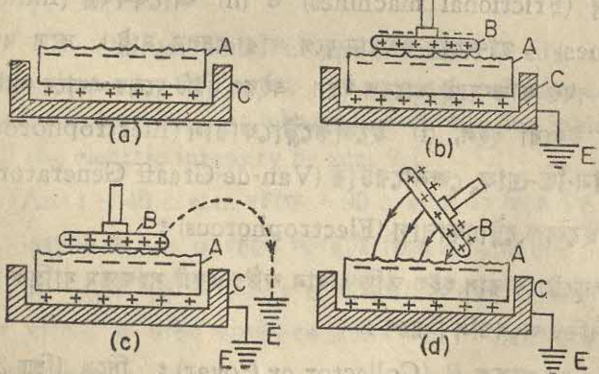
চিত্র 3.1

(ii) **উৎপাদক** (Cake) : কোন অন্তরক পদার্থ যেমন, এবোনাইট, গালা ইত্যাদি দ্বারা নির্মিত অন্য একটি চাকৃতি A সংগ্রাহক অপেক্ষাও আকারে কিছু বড় এবং ইহার উপরতল অমসৃণ। ইহাকে ঘষিয়া আধান সৃষ্টি করা হয় বলিয়া ইহাকে উৎপাদক বলে।

(iii) **আসন** C (Sole) : ইহা থালার ন্যায় অগভীর একটি ধাতব পাত্র C (চিত্র 3.1)। ইহার উপর উৎপাদক বসান থাকে বলিয়া ইহাকে আসন বলে।

কার্যপ্রণালী (Method of working) : এই যন্ত্রে তড়িৎ উৎপন্ন করিতে হইলে প্রথমে ইহার বিভিন্ন অংশ ও একটুক্‌রা ফ্ল্যানেল বা বিড়ালের

চামড়াকে ভালভাবে রৌদ্রে গরম করিয়া শুষ্ক করিয়া লইতে হয়। অতঃপর উৎপাদক (A)-কে আসনে (C) বসাইয়া ইহার অমসৃণ তলকে ফ্লানেল দিয়া উত্তমরূপে ঘর্ষণ করিতে হইবে। ইহাতে উৎপাদকে ঋণাত্মক তড়িতের উদ্ভব হইবে (চিত্র 3.2a)। এইবার সংগ্রাহককে (B) ইহার হাতলে ধরিয়া উৎপাদকের উপর বসাইতে হইবে (চিত্র 3.2b)। উৎপাদকের তল অমসৃণ হওয়ায় উৎপাদক ও সংগ্রাহক পরস্পরকে কয়েকটি বিন্দুতে মাত্র স্পর্শ করিবে। প্রকৃত-



চিত্র 3.2

পক্ষে ইহারা একটি পাতলা বায়ুস্তর দ্বারা বিচ্ছিন্ন বলিয়া ধরা যাইতে পারে। ফলে সংগ্রাহকে পরিবহন অপেক্ষা তড়িতাবেশের প্রভাবই বেশী কার্যকরী হইবে। ইহাতে সংগ্রাহকের তলার পৃষ্ঠে ধনাত্মক আধান (চিত্র 3.2b) আবিষ্ট হইবে এবং উপরের পৃষ্ঠে ঋণাত্মক আধান সৃষ্টি হইবে। এই অবস্থায় সংগ্রাহককে মুহূর্তের জন্য স্পর্শ করিলে ইহার উপরের পৃষ্ঠের মুক্ত আবিষ্ট আধান মাটিতে চলিয়া যাইবে (চিত্র 3.2c)। এখন সংগ্রাহককে হাতলে ধরিয়া সরাইয়া লইলে ইহার তলার পৃষ্ঠের বদ্ধ আবিষ্ট ধনাত্মক আধান সংগ্রাহকের সর্বত্র ছড়াইয়া পড়িবে (চিত্র 3.2d) এবং তখন এই আধান ইচ্ছামত ব্যবহার করা চলিবে।

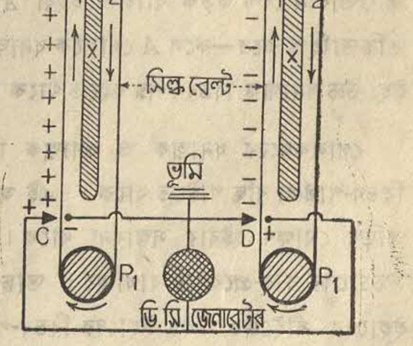
সংগ্রাহকের আধান ব্যবহৃত হইয়া গেলে ইহাকে পুনরায় উৎপাদকের উপর বসাইয়া পূর্ববর্ণিত প্রক্রিয়াগুলি পর পর করিয়া গেলে ইহাতে আবার কিছু আধান পাওয়া যাইবে। ফলে, উৎপাদককে একবার আহিত করিয়া ইহা হইতে বার বার আধান সংগ্রহ করা যাইতে পারে।

আসনের কার্য ঃ উপরের আলোচনায় আসনের প্রয়োজনীয়তার কোন উল্লেখ নাই। চিত্র 3.2a-তে দেখা যাইতেছে যে উৎপাদকের ঋণাত্মক আধান আসনের ভিতরের পৃষ্ঠে ধনাত্মক ও বাহিরের পৃষ্ঠে ঋণাত্মক আধান আবিষ্ট করে। আসনের বাহিরের পৃষ্ঠ আবার ভূ-সংলগ্ন থাকে বলিয়া এই পৃষ্ঠের মুক্ত ঋণাত্মক আধান মাটিতে চলিয়া যায় (চিত্র 3.2b)। ইহার ভিতরের পৃষ্ঠের বদ্ধ ধনাত্মক আধান উৎপাদকের ঋণাত্মক আধানকে আকর্ষণ করিয়া রাখিয়া ইহার তড়িৎক্ষরণ অনেকাংশে নিবারণ করে। ফলে উৎপাদকের আধান বহুক্ষণ অক্ষুণ্ণ থাকে।

3.3. ভ্যান-ডি-গ্রাফ জেনারেটার (Van-de-Graaff Generator) **:**

1931 খৃষ্টাব্দে রবার্ট ভ্যান-ডি-গ্রাফ তড়িতাবেশে তড়িৎসৃষ্টির এই সর্বাধুনিক যন্ত্রটির উদ্ভাবন করেন। সূচ্যগ্র পরিবাহীর ক্ষরণ-ক্রিয়া ও ফাঁপা গোলাকার পরিবাহীর সংগ্রাহক ক্রিয়ার উপর এই যন্ত্রের কার্যনীতি নির্ভরশীল।

বর্ণনা (Description) **:** চিত্রে (চিত্র 3.3) এই যন্ত্রের একটি সাধারণ নক্সা দেখানো হইল। ইহাতে A ও B দুইটি ফাঁপা ধাতব গোলক। ইহারা কাচ বা অন্য কোন অন্তরক পদার্থ দ্বারা তৈয়ারী দুইটি বৃহৎ স্তম্ভ (X)-এর উপর বসানো থাকে। ইহাদের একটি (ধর A) জেনারেটারের ধনাত্মক ও অপরটি (B) ইহার ঋণাত্মক প্রান্ত হিসাবে কাজ করে। দুই জোড়া কপিকল (P_1, P_2)-এর একটি (P_2) করিয়া ফাঁপা গোলকদ্বয়ের মধ্যে অবস্থিত এবং অন্যটি (P_1) একটি বৈদ্যুতিক মোটরের (চিত্রে দেখানো নাই) সহিত সংযুক্ত। এখন একটি সিল্ক বেল্ট দিয়া কপিকল দুইটির মধ্যে সংযোগ স্থাপন করিলে কপিকল দুইটি সিল্ক বেল্টটিকে তীরচিহ্নিত পথে ঘুরাইবে। বেল্ট দুইটি ফাঁপা গোলকদ্বয়ের গাত্রের দুইটি ছিদ্র (S_1, S_2) দিয়া যাতায়াত করে।



চিত্র 3.3

কার্যপ্রণালী (Method of working) **:** কোন ডি. সি. জেনারেটার (তড়িৎযন্ত্র) হইতে কিছু ধনাত্মক তড়িতাধান একটি বেল্টের নিচের দিকে কোন এক বিন্দু *D*-তে রক্ষিত একটি ক্ষুদ্র গোলকে জমা হয়। ইহার সম্মুখে বেল্টের বিপরীতদিকে একটি সূচ্যগ্র পরিবাহী থাকে। আবেশের দরুন এই পরিবাহীর সূচীমুখ ঋণাত্মক তড়িতাহিত হয় এবং ইহার বিপরীত প্রান্ত ভূ-সংলগ্ন থাকায় এই প্রান্তে আবিষ্ট মুক্ত ধনাত্মক আধান মাটিতে চলিয়া যায়। এই সূচীমুখ বেল্টের খুব নিকটে থাকে, ফলে ইহা হইতে তড়িৎক্ষরণ সুরু হইলে ইহার ঋণাত্মক আধান বেল্টে জমা পড়ে এবং বেল্টের ঊর্ধ্বগতির সঙ্গে ইহাও ঊর্ধ্বমুখী হয়। *B* গোলকের অভ্যন্তরে প্রবেশ করিলে ইহা *B* গোলকের গায়ে আবদ্ধ অন্য একটি সূচ্যগ্র পরিবাহী (*G*)-এর সম্মুখীন হয়। পুনরায় আবেশের ফলে ইহা *G*-এর সূচীমুখকে তখন ধনাত্মক তড়িতাহিত এবং গোলক *B*-এর গাত্রকে ঋণতড়িতাহিত করে। বেল্টের ঘূর্ণনের সঙ্গে সঙ্গে গোলকের বাহিরের গাত্রে অধিকমাত্রায় তড়িতাধান জমা হইতে থাকে এবং গোলকের অভ্যন্তরে তড়িৎ-ক্ষেত্রের বিশেষ তেমন প্রভাব থাকে না। গোলকের গাত্রে ঋণাত্মক তড়িতা-ধান বৃদ্ধির সঙ্গে ইহা উচ্চ ঋণতড়িৎ-বিভবসম্পন্ন হইয়া উঠে।

একইভাবে তড়িৎযন্ত্রের ঋণাত্মক প্রান্ত হইতে ঋণাত্মক তড়িতাধান দ্বিতীয় বেল্টের *C* বিন্দুর নিকটস্থ ছোট গোলকে জমা পড়ে এবং ইহার সম্মুখস্থ সূচ্যগ্র পরিবাহীকে তড়িতাহিত করে। ইহা হইতে তড়িৎক্ষরণের ফলে ধনাত্মক তড়িতাধান বেল্ট কর্তৃক বাহিত হইয়া *A* গোলকের ভিতর *F* পরিবাহীকে তড়িতাহিত করে—ফলে *A* গোলকে ধনাত্মক আধান জমা পড়িতে থাকে এবং ইহা উচ্চ ধনাত্মক বিভবসম্পন্ন হইতে থাকে।

গোলকদ্বয়ের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক বিভব বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে ইহাদের মধ্যে বিভব-পার্থক্য বৃদ্ধি পাইতে থাকে। এই অবস্থায় ইহাদের গাত্র হইতে বায়ুতে তড়িৎ মোক্ষণ হইবার সম্ভাবনা থাকে। ইহা নিবারণের জন্য গোলকদ্বয়কে উচ্চচাপের বায়ু-প্রকোষ্ঠে রাখা হয়। তাছাড়া গোলকদ্বয়ের গাত্রের মসৃণতা ও ইহাদের সাইজের উপর ইহাদের বিভব-পার্থক্য নির্ভর করে। আধুনিক যুগে প্রায় 15 ফুট ব্যাসের গোলক ও খুব দীর্ঘ বেল্ট ব্যবহার করিয়া গোলকদ্বয়ের মধ্যে প্রায় 1 কোটি ভোল্ট বিভব-প্রভেদ সৃষ্টি করা সম্ভবপর হইয়াছে। গোলক-দ্বয় হইতে উচ্চ তড়িৎ-প্রবাহ পাইতে হইলে বেল্টটিকে সম্ভাব্য প্রবলতম বেগে ঘুরাইতে হয়।

প্রশ্নাবলী

1. তড়িৎ-যন্ত্র কি? ইলেকট্রোফোরাসের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। ইহা কিভাবে সুদীর্ঘকাল তড়িতাধান সরবরাহ করিতে পারে ব্যাখ্যা কর।

[What is an electric machine? Explain the construction and working principle of an Electrophorous. Explain how it can supply electricity for a long time.]

2. একটি ভ্যান-ডি-গ্রাফ জেনারেটারের গঠন ও কার্যপ্রণালী নক্সার সাহায্যে বোঝাও।

[Explain with the help of diagram, the construction and working principle of a Van-de-Graaff generator.]

চলবিদ্যুৎ (Current Electricity)

প্রথম অধ্যায়

তড়িৎ-কোষ (Electric cells)

1.1. সূচনা (Introduction) :

কাচদণ্ডকে সিল্ক কাপড় দ্বারা ঘষিয়া স্থিরবিদ্যুৎ উৎপন্ন করা যায়, ইহা তোমরা জান। দণ্ডটির গায়ে হাত বুলাইলে তড়িৎ আমাদের দেহের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইয়া মাটিতে চলিয়া যায়। দেহ পরিবাহী বলিয়াই তড়িতের এই প্রবাহ ঘটে। ধাতুনির্মিত দুইটি ধাতব গোলককে তড়িতাহিত করিয়া উহাদের মধ্যে একটি তামার তারের সংযোগ ঘটাইলে তামার তারে তড়িতের প্রবাহ ঘটে। **এই প্রবাহী তড়িৎকে চলতড়িৎ বা চলবিদ্যুৎ বলে।** তামার তারে প্রবাহের অভিমুখ কোন্ দিকে ঘটিবে বা আদৌ ঘটিবে কি না, তাহা গোলক দুইটির তড়িৎ-অবস্থা বা বিভবের উপর নির্ভর করে। তাপ যেমন উচ্চ তাপমাত্রার বস্তু হইতে নিম্ন তাপমাত্রার বস্তুতে সঞ্চালিত হয়, তেমনি তড়িৎও উচ্চ-বিভব হইতে নিম্ন-বিভবের দিকে প্রবাহিত হয়। গোলক দুইটির বিভব সমান হইলে অর্থাৎ উভয়ের মধ্যে কোন বিভব-পার্থক্য না থাকিলে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে না। **পৃথিবীর তড়িৎ-বিভব সর্বদা একই থাকে বলিয়া উহার তুলনায় অন্য বস্তুর বিভব ধনাত্মক না ঋণাত্মক, তাহা বিচার করা হয়।** কোন বস্তুকে পরিবাহী দ্বারা পৃথিবীর সহিত যুক্ত করিলে যদি তড়িৎপ্রবাহ পৃথিবীর অভিমুখে হয় তবে ঐ বস্তুর বিভবকে **ধনাত্মক** (positive) আর যদি প্রবাহ বিপরীতমুখী হয় তবে বিভবকে **ঋণাত্মক** (negative) বলা হয়। পৃথিবীর বিভব সর্বদা শূন্য ধরিয়া এই বিচার করা হয়।

দেখা যাইতেছে, বিভব-পার্থক্য না থাকিলে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে না। আবার তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে বিভব-পার্থক্য ক্রমশ কমিয়া আসিবে এবং একই বিভবে পৌছিলে তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ হইবে। যেমন, দুইটি বিষম তাপমাত্রার বস্তু পরস্পর তাপ আদান-প্রদান করিয়া যখন একই তাপমাত্রায় পৌছায় তখন তাপ চলাচল বন্ধ হইয়া যায়। সুতরাং নিরবচ্ছিন্ন তড়িৎপ্রবাহ পাইতে হইলে পরিবাহীর দুই প্রান্তের মধ্যে বিভব-পার্থক্য বজায় রাখিতে হইবে। যে যন্ত্রের সাহায্যে ইহা করা যায় তাহাকে **তড়িৎ-কোষ** বলে। তড়িৎ-কোষে রাসায়নিক শক্তির তড়িৎশক্তিতে রূপান্তর ঘটে।

1.2. তড়িৎকোষ ও ইহার ক্রিয়া (Cells and their action) :

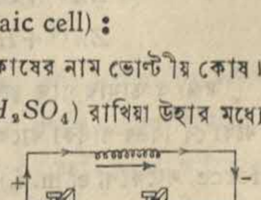
কোন অণু বা পরমাণু হইতে ইলেকট্রন মুক্ত হইলে বা উহাতে ইলেকট্রন যুক্ত হইলে উহা তড়িৎগ্রস্ত হয়। এই প্রকার অণু বা পরমাণুদের আয়ন এবং এই ঘটনাকে আয়নীভবন বা আয়নয়ন বলে। কিছু কিছু যৌগিক পদার্থ আছে যাহাদের দ্রাবকে দ্রবীভূত করিলে আয়নে বিশ্লেষিত হয়। এইরূপ আয়নযুক্ত দ্রবের মধ্যে কোন ধাতুখণ্ড রাখিলে দুইটি বিরুদ্ধ ক্রিয়ার উৎপত্তি হয়। (1) ধাতু হইতে ধনাত্মক আয়ন তরলে চলিয়া আসিতে চায়। এই দ্রবণপ্রবণতাকে **তড়িৎদ্রবের চাপ** (electrolytic solution pressure) বলে। এই ক্রিয়া পদার্থের উপর নির্ভরশীল। (2) তরলের ধর্মের উপর নির্ভর করিয়া উহা হইতে ধনাত্মক আয়ন ধাতুর উপর জমা হইতে চায়। ইহাকে **আস্রাবণের চাপ** (osmotic pressure) বলে।

দ্রবে নিমজ্জিত ধাতুখণ্ডের ক্ষেত্রে তড়িৎদ্রবের চাপ, আস্রাবণের চাপ অপেক্ষা বেশী হইলে ধাতু হইতে বেশী ধনাত্মক আয়ন দ্রবে চলিয়া যায়, ফলে ধাতুটি ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হইয়া পড়ে। বিপরীতপক্ষে, আস্রাবণের চাপ বেশী হইলে ধাতুটি ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হয়। এইভাবে ধাতুর ঋনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত বা ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হওয়া অনির্দিষ্টকাল ধরিয়া চলে না। এক সময় সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয় এবং সাম্যাবস্থায় ধাতু ও দ্রবের মধ্যে বিভব-পার্থক্য স্থিরমানে আসে। ইহা নির্ভর করে দ্রব ও ধাতুর প্রকৃতির উপর।

বিভিন্ন প্রকার তড়িৎকোষের গঠন ও উপরি-উক্ত ক্রিয়ায় উদ্ভূত বিভব-পার্থক্য নিম্নে আলোচনা করা হইল।

1.3. সরল ভোল্টীয় কোষ (Simple voltaic cell) :

ইতালীয় বিজ্ঞানী ভোল্টার নামানুসারে এই কোষের নাম ভোল্টীয় কোষ। একটি কাচের পাত্রে লঘু সালফিউরিক এ্যাসিড (H_2SO_4) রাখিয়া উহার মধ্যে একটি তামা (Cu) এবং একটি দস্তার (Zn) পাত আংশিকভাবে ডুবাইয়া রাখা হয় (চিত্র 1.1)। দ্রবণের বাহিরে পাত দুইটির সহিত সংযুক্ত বন্ধনী দুইটির মধ্যে তামার তার দিয়া তড়িৎপ্রবাহ তামার পাত হইতে দস্তার পাতের দিকে যায়। তামার পাতকে **ধনাত্মক মেরু** (positive pole) এবং দস্তার পাতকে **ঋণাত্মক মেরু** (negative pole) বলে।



চিত্র 1.1

ক্রিয়াঃ লঘু H_2SO_4 বিশ্লেষিত হইয়া H^+ এবং SO_4^{--} উৎপন্ন করে ($H_2SO_4 = 2H^+ + SO_4^{--}$)। আস্রাবণের চাপে কিছু H^+ এ্যাসিড হইতে তামার পাতে চলিয়া যায়, ফলে, তামার পাতটি ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত (প্রায় 0+·46 ভোল্ট) হয়। অন্যদিকে, তড়িৎদ্রবের চাপে দস্তার পাত হইতে কিছু Zn^{++} অ্যাসিডে আসে, ফলে দস্তার পাত ঋনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত (প্রায় −·62 ভোল্ট) হয়। সুতরাং উভয় পাতের মধ্যে বিভব-পাথক্য $= \cdot46 - (-\cdot62) = 1\cdot08$ ভোল্ট। এই বিভব-পার্থক্যের কারণে তারের ভিতর দিয়া দস্তার পাত হইতে তামার পাতে ইলেকট্রনের প্রবাহ ঘটে। **তড়িৎপ্রবাহের প্রচলিত দিক ঋণাত্মক তড়িতাধানের প্রবাহের বিপরীত দিকে ধরা হয়।** এই হিসাবে বলা হয়, তড়িৎপ্রবাহ তামার তারের ভিতর দিয়া তামার পাত হইতে দস্তার পাতের দিকে ঘটে।

দস্তার পাত হইতে মুক্ত Zn^{++} আয়ন, SO_4^{--} আয়নের সহিত ক্রিয়া করিয়া $ZnSO_4$ গঠন করে। ইহা অদ্রাব্য সাদা গুঁড়া পদার্থ, পাত্রের নীচে জমা হয়। H^+ আয়ন তামার পাতে যায়, সেখানে প্রবাহী ইলেকট্রন দ্বারা প্রশমিত হইয়া H_2 অণু গঠন করে এবং বুদ্বুদের আকারে উপরে উঠে। ইহাতে উভয় পাতের বিভব-পার্থক্য বজায় থাকে এবং ইলেকট্রনপ্রবাহ চলে। দস্তা ক্রমশ H_2SO_4 এ্যাসিডে দ্রবীভূত হইতে থাকে।

কোষের মধ্যে সম্পূর্ণ রাসায়নিক ক্রিয়াটিকে এইভাবে লেখা যায়

$$H_2SO_4 = 2H^+ + SO_4^{--}$$

$$Zn^{++} + SO_4^{--} = ZnSO_4$$

$$\therefore \quad Zn^{++} + H_2SO_4 = ZnSO_4 + 2H^+$$

দস্তা ও তামার পাত দুইটি পরিবাহী তার দ্বারা যুক্ত না থাকিলে উহাদের মধ্যে যে বিভব-পার্থক্য থাকে, তাহাকে **তড়িচ্চালক বল** (electromotive force, সংক্ষেপে, e. m. f.) বলে। সরল ভোল্টীয় কোষে ইহার মান 1·08 ভোল্ট।

1.4. সরল ভোল্টীয় কোষের ত্রুটি ও তাহার প্রতিকার (Defects of a simple voltaic cell and their removal) :

প্রধানত দুইটি ত্রুটির জন্য সরল ভোল্টীয় কোষের ক্রিয়া স্থায়ী হয় না। ত্রুটিগুলি হইল : (i) স্থানীয় ক্রিয়া (local action) ও (ii) ছদন (polarisation)। নীচে ইহাদের কারণ ও প্রতিকারের উপায় বলা হইল।

স্থানীয় ক্রিয়া : বাজারে যে দস্তার পাত পাওয়া যায়, তাহা সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ নয়, ইহার সহিত কার্বন, আর্সেনিক, লোহা, সীসা ইত্যাদি অপদ্রব্য থাকে। এই সমস্ত খাদ এ্যাসিডের মধ্যে দস্তার পাতের উপরেই ছোট ছোট তড়িৎ-কোষ সৃষ্টি করে। মুক্ত হাইড্রোজেন আয়ন আর দূরবর্তী তামার পাতে না গিয়া এই খাদগুলিতেই জমা হয়। ফলে, পাত দুইটির বহিঃসংযোগ না করিলেও, কোষে স্থানীয় তড়িৎপ্রবাহ চলে এবং দস্তা ক্ষয় পাইতে থাকে। ইহাকে স্থানীয় ক্রিয়া বলে।

বিশুদ্ধ দস্তার ব্যবহারে এই ত্রুটি দূর করা যায়। পরিবর্তে, খাদমিশ্রিত দস্তার উপর পারদের প্রলেপ (amalgamation) লাগাইলে স্থানীয় ক্রিয়া বন্ধ হয়। খাদের উপাদানগুলি পারদ-আস্তরণের নীচে পড়িয়া যায়, ফলে, এ্যাসিডের সংস্পর্শে আসিতে পারে না। অন্যদিকে দস্তা দ্রবীভূত হইয়া উপরে চলিয়া আসে।

ছদন : যে হারে H^+ আয়নগুলি তামার পাতে আসিয়া আধান হারাইয়া H_2 অণুতে পরিণত হয়, সেই হারে উৎপন্ন H_2 গ্যাস বুদ্বুদের আকারে বাহিরে চলিয়া যাইতে পারে না। ইহাতে তামার পাতের চারিদিকে অপরিবাহী H_2 গ্যাসের একটি মেঘ জমিয়া যায় এবং ইহা পরবর্তী H^+ আয়নগুলিকে আসিতে কার্যত বাধা দেয়। ইহাতে একটি **বিপরীতমুখী তড়িচ্চালক বলের** (back e. m. f.) উদ্ভব হয়। তখন তামার পাতের পরিবর্তে H_2 গ্যাসের এই আস্তরণটি যেন একটি তড়িৎদ্বারের কাজ করে। **কোষের তড়িৎ-দ্বারের এই প্রকৃতির পরিবর্তন ঘটিবার নাম ছদন।** ছদনের জন্য মূল তড়িচ্চালক বলের মাত্রা কমিয়া যায়।

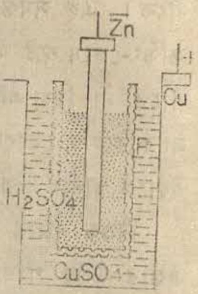
তামার পাতটিকে কোষের বাহিরে আনিয়া ব্রাশ দিয়া ঝাড়িয়া লইলে ছদন অনেকাংশে দূর হয়। কিন্তু এই যান্ত্রিক পদ্ধতির সুবিধা সাময়িক। কোষের মধ্যে বিশেষ ধরনের রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহার করিয়া স্থায়িভাবে ছদন নিবারণ করা যায়। এই রাসায়নিক পদার্থটি H_2 অণুর সহিত ক্রিয়া করিয়া উহাকে জলে পরিণত করে। বিভিন্ন প্রকার কোষে বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহার করা হয়। ইহাদের **ছদননিবারক** (depolariser) বলে। বিভিন্ন কোষের বর্ণনাকালে ছদননিবারকের ক্রিয়া আলোচনা করা হইবে।

1.5. মুখ্য বা প্রাথমিক কোষ (Primary cells) :

যে সমস্ত কোষে ক্রিয়াশীল রাসায়নিক দ্রবণ এবং ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বার থাকে এবং রাসায়নিক ক্রিয়া হইতে শক্তি আহরণ করা হয়, তাহাদের

প্রাথমিক কোষ বলে। এই সমস্ত কোষে ছদনিবারক ব্যবহার করা হয়। বহু প্রকার প্রাথমিক কোষ আছে। তাদের কয়েকটির বর্ণনা নীচে দেওয়া হইল।

ড্যানিয়েল কোষ (Daniel cell)ঃ এই কোষে একটি বড় তামার পাত্রে একটি সছিদ্র চীনামাটির পাত্র (P) রাখা হয় (চিত্র 1.2)। তামার পাত্র ও চীনামাটির পাত্রের মাঝখানে $CuSO_4$ দ্রবণ এবং চীনামাটির পাত্রে H_2SO_4 এ্যাসিড দ্রবণ রাখা হয়। একটি দস্তার পাত এই পাতলা এ্যাসিড দ্রবণে ডোবান থাকে। দস্তার পাতটি ঋণাত্মক মেরু এবং তামার পাত্রটি ধনাত্মক মেরুর কাজ করে।



চিত্র 1.2

কোষের ক্রিয়া আমরা নিম্নভাবে প্রকাশ করিতে পারি।

ইলেকট্রন প্রবাহ

$Zn \rightarrow Zn^{++} + 2e \rightarrow$ দস্তার পাতে (e = ইলেকট্রন)

$Zn^{++} + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + 2H^+$ এ্যাসিডে

$CuSO_4 + 2H^+ \rightarrow H_2SO_4 + Cu^{++}$ $CuSO_4$ দ্রবে

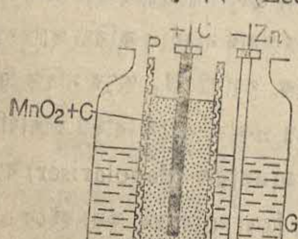
$\rightarrow 2e + Cu^{++} \rightarrow Cu$ তামার পাতে

মোট ঃ $Zn + CuSO_4 \rightarrow Cu + ZnSO_4$

উপরে বর্ণিত ক্রিয়া হইতে দেখা যাইতেছে, $CuSO_4$-এর পরিমাণ ক্রমশ কমিয়া যাইবে। উহার পরিমাণ বজায় রাখিবার উদ্দেশ্যে অনেক সময় পাত্রের মধ্যে $CuSO_4$-এর দানা রাখিয়া দেওয়া হয়।

স্থায়ী তড়িৎপ্রবাহের প্রয়োজনে এই কোষ ব্যবহার করা হয়। ইহার তড়িচ্চালক বল 1·08 ভোল্ট।

লেকল্যান্স কোষ (Leclanche cell)ঃ এই কোষে একটি বড় কাচের জারের (G) মধ্যে একটি সছিদ্র চীনামাটির পাত্র (P) থাকে (চিত্র 1.3)। কোষে ধনাত্মক মেরুটি কার্বনের (C) এবং ঋণাত্মক মেরুটি দস্তার (Zn)। দস্তার দণ্ডটি অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের (NH_4Cl) জলীয় দ্রবণে এবং কার্বন-দণ্ডটি চীনামাটির পাত্রে ম্যাঙ্গানীজ ডাই-অক্সাইড ও কাঠকয়লার গুঁড়ার মধ্যে বসান থাকে।



চিত্র 1.3

কোষের রাসায়নিক ক্রিয়াগুলি নিম্নরূপ :

——←——ইলেকট্রন প্রবাহ←——

$Zn \rightarrow Zn^{++} + 2e$ —— দস্তার পাতে

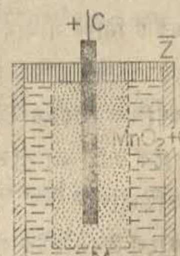
$Zn^{++} + 2NH_4Cl \rightarrow ZnCl_2 + 2NH_3 + 2H^+$

——→ $2e + 2H^+ \rightarrow H_2$ কার্বন পাতে

মোট : $Zn + 2NH_4Cl \rightarrow ZnCl_2 + 2NH_3 + H_2$

ছদন নিবারকের ক্রিয়া : $2MnO_2 + H_2 \rightarrow Mn_2O_3 + H_2O$। দেখা যাইতেছে, H_2, MnO_2-র ক্রিয়ায় জলে পরিণত হয়। উৎপন্ন অ্যামোনিয়া গ্যাস (NH_3) জলে দ্রবীভূত হয়। MnO_2 এখানে ছদননিবারক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। ছদননিবারকের ক্রিয়া দ্রুতহারে হয় না বলিয়া, এই কোষের একটানা ব্যবহার করা উচিত নয়। ইহার তড়িচ্চালক বল 1·5 ভোল্ট।

নির্জল-কোষ (Dry cell) : এই কোষের গঠন লেকল্যান্স কোষের মত, তবে এখানে NH_4Cl-এর জলীয় দ্রবণের পরিবর্তে NH_4Cl, ময়দা, প্লাস্টার অফ প্যারিস, কাঠের গুঁড়া ইত্যাদির মিশ্রণে প্রস্তুত একটি লেই (M) ব্যবহার করা হয় (চিত্র 1.4)। ধারকপাত্রটি (Z) একটি দস্তার চোঙ—ইহাই ঋণাত্মক প্লেট হিসাবে কাজ করে। ধনাত্মক মেরু একটি কার্বন-দণ্ড (C), ইহা MnO_2 এবং কাঠকয়লার গুঁড়ার মিশ্রণে বসান থাকে। লেই যাহাতে সম্পূর্ণ শুকাইয়া না যায়, এই কারণে উহার মধ্যে $ZnCl_2$ সামান্য পরিমাণে মিশানো হয়। উপরের মুখটি গালা, পিচ ইত্যাদির সাহায্যে বন্ধ করা থাকে। অনেক সময় গ্যাস-নির্গমনের জন্য একটি ছোট ছিদ্র রাখা হয়। এই কোষের তড়িচ্চালক বল 1·5 ভোল্ট। টর্চলাইট, রেডিও ইত্যাদিতে এই কোষ ব্যবহার করা হয়।



চিত্র 1.4

1.6. গৌণ কোষ বা সঞ্চয়ক কোষ (Secondary cells or Storage cells) :

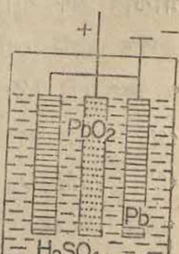
প্রাথমিক কোষের গঠন খুব সাধারণ, কিন্তু যখন কোষের রাসায়নিক ক্রিয়া সম্পূর্ণরূপে বন্ধ হইয়া যায়, তখন রাসায়নিক পদার্থগুলি ফেলিয়া দিয়া নূতনভাবে কোষ তৈয়ারী করিতে হয়। ফলে, ইহার পৌনঃপুনিক খরচ বেশী। এক ধরনের কোষ আছে, যাহাদের মধ্যে রাসায়নিক পদার্থগুলির ক্রিয়া বন্ধ হইয়া গেলেও পুনরায় অন্য উৎস হইতে কোষে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করিয়া কোষকে

পূর্বের কার্যক্ষম অবস্থায় ফিরাইয়া আনা যায়। ইহাদের সঞ্চয়ক কোষ বলে। এই কোষে রাসায়নিক উপাদান কখনই নিঃশেষিত হইয়া যায় না।

প্রথমে বাহির হইতে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করিয়া কোষে রাসায়নিক পদার্থের তড়িৎ-বিশ্লেষণ করাকে **চার্জিং** (charging) বা **আহিতকরণ** বলে। পরে সঞ্চয়ক কোষ হইতে তড়িৎ নির্গমন করাকে **ডিসচার্জিং** (discharging) বা **তড়িৎমোক্ষণ** বলে। দুই ধরনের সঞ্চয়ক কোষ ব্যবহার করা হয়ঃ (a) **অ্যাসিড সঞ্চয়ক কোষ** ও (b) **ক্ষারীয় সঞ্চয়ক কোষ**।

এ্যাসিড সঞ্চয়ক কোষে একটি মোটা কাচের পাত্রে দুই সারি সীসার পাত লঘু H_2SO_4 এ্যাসিডে ডুবানো থাকে। প্রত্যেক সারির পাতগুলি পরিবাহী ধাতু দ্বারা সংযুক্ত এবং বন্ধনীস্ক্রুর সহিত যুক্ত (চিত্র 1.5)। চার্জিং-এর সময় H_2SO_4-এর তড়িৎ-বিশ্লেষণ হয় ($H_2SO_4 \rightarrow SO_4^{--} + 2H^+$)।

H_2SO_4-এর সহিত বিক্রিয়ায় প্রথমেই $PbSO_4$ উৎপন্ন হয়, পরে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় ধনাত্মক পাতে PbO_2 এবং ঋণাত্মক পাতে Pb জমা হয়। ইহাতে কোষে এ্যাসিডের গাঢ়তা বৃদ্ধি পাইতে থাকে। গাঢ়তা একটি নির্দিষ্ট সীমায় পৌছাইলে কোষটি ব্যবহারোপযোগী হয়। ডিস্চার্জিং-এর সময় ধনাত্মক পাতের PbO_2 এবং ঋণাত্মক পাতের Pb আবার $PbSO_4$-এ পরিণত হইতে থাকে এবং এ্যাসিডের গাঢ়তা ক্রমশ কমে। এই কোষের তড়িচ্চালক বল 2·5 ভোল্টের মত, কিন্তু ব্যবহারকালে 2 ভোল্টের কাছাকাছি পাওয়া যায়। তড়িচ্চালক বল একটি নির্দিষ্ট সীমার নীচে নামিলে, ইহা ব্যবহার না করাই যুক্তিসঙ্গত।



চিত্র 1.5

চার্জিং-এর সময়ঃ

$$PbSO_4 + SO_4 + 2H_2O = PbO_2 + H_2SO_4 \quad \text{ধনাত্মক পাতে}$$

$$PbSO_4 + H_2 = Pb + H_2SO_4 \quad \text{ঋণাত্মক ,,}$$

ডিস্চার্জিং-এর সময়ঃ

$$PbO_2 + H_2 + SO_4 = PbSO_4 + 2H_2O \quad \text{ধনাত্মক ,,}$$

$$Pb + SO_4 = PbSO_4 \quad \text{ঋণাত্মক ,,}$$

ক্ষারীয় সঞ্চয়ক কোষে KOH-কে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ হিসাবে ব্যবহার করা হয়। ইহার ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বার নিকেল হাইড্রক্সাইড এবং ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বার নিকেল-ইস্পাতের তৈয়ারী। ইহার তড়িচ্চালক বল 1·35 ভোল্ট।

প্রশ্নাবলী

1. একটি তড়িৎ-কোষের দুই মেরুতে বিভব-পার্থক্যের কারণ কি? তড়িৎদ্রবের চাপ ও আস্রাবণের চাপ বলিতে কি বোঝ? একটি সরল ভোল্টীয় কোষের কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া বল।

[What is the cause of the potential difference at the two poles of a cell ? What do you understand by electrolytic solution pressure and osmotic pressure ? Explain the action of a simple voltaic cell.]

2. সরল ভোল্টীয় কোষের ত্রুটিগুলি কিভাবে দূর করা যায়?

[What are the defects of a simple voltaic cell ? How the defects can be removed ?]

3. প্রাথমিক কোষ কাহাকে বলে? ড্যানিয়েল কোষের বিবরণ ও কার্যপ্রণালী চিত্রসহযোগে ব্যাখ্যা কর।

[What is a primary cell ? Describe a Daniell cell and explain its action with a diagram.]

4. চিত্রসহ লেকল্যান্স কোষের বর্ণনা কর ও কার্যপ্রণালী বল। নির্জল-কোষের বর্ণনা করিয়া ইহার ব্যবহার বল।

[Describe a Leclanche cell with a diagram and state its action. Describe a dry cell with its uses.]

5. একটি সঞ্চয়ক-কোষ বর্ণনা কর ও ইহার কার্যপ্রণালী বল। ইহাকে গৌণ-কোষ বলা হয় কেন?

[Describe a storage cell and explain its action. Why it is called a secondary cell ?]

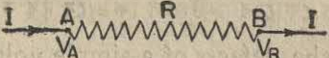
দ্বিতীয় অধ্যায়

ওহ্‌মের সূত্র ও তড়িৎ-বর্তনী

(Ohm's Law and Electrical Circuits)

2.1. ওহ্‌মের সূত্র (Ohm's Law) :

কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎ-চলাচল ঘটিলে, তাহাকে তড়িৎ-প্রবাহ এবং ঐ প্রবাহের মাত্রাকে প্রবাহমাত্রা বলা হয়। 1826 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী জি. এস. ওহ্‌ম (G. S. Ohm) পরিবাহীর প্রবাহমাত্রা ও ইহার



চিত্র 2.1

প্রান্তদ্বয়ের বিভব-প্রভেদের মধ্যে সম্পর্কের একটি সূত্র বাহির করেন। সূত্রটি ওহ্‌মের সূত্র নামে পরিচিত এবং ইহাকে চলবিদ্যুতের মূলসূত্রও বলা যায়। সূত্রটি নিম্নরূপ :

পরিবাহীর তাপমাত্রা ও অন্যান্য ভৌত অবস্থা অপরিবর্তিত থাকিলে, পরিবাহীর ভিতর প্রবাহমাত্রা উহার দুই প্রান্তের বিভব-প্রভেদের সমানুপাতিক।

চিত্রে (চিত্র 2.1) AB পরিবাহী তারের দুই প্রান্তবিন্দু A এবং B-র বিভব যথাক্রমে V_A এবং V_B। সুতরাং উহাদের বিভব-পার্থক্য $V_A - V_B$ এবং A হইতে B অভিমুখে প্রবাহ ঘটিতেছে বলিয়া $V_A > V_B$. প্রবাহমাত্রা I হইলে, ওহ্‌মের সূত্র অনুযায়ী, $I \propto (V_A - V_B)$

অথবা, $I = \frac{1}{R}(V_A - V_B)$, এখানে R একটি ধ্রুবক, উহা পরিবাহী তারের প্রকৃতি ও আকারের উপর নির্ভরশীল। R-কে পরিবাহীর **রোধ** (resistance) বলে। ওহ্‌মের সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ হইতে দেখা যায় যে, বিভব-পার্থক্য $(V_A - V_B)$ বাড়িলে বা রোধ (R) কমিলে প্রবাহমাত্রা (I) বাড়ে।

পরিবাহীর রোধকে ওহ্‌মের নাম অনুযায়ী ওহ্‌ম (Ohm) দ্বারা প্রকাশ করা হয়। তড়িৎ-বিজ্ঞানে ব্যবহৃত কয়েকটি রাশির সংজ্ঞা নীচে দেওয়া হইল।

2.2. কয়েকটি প্রয়োজনীয় রাশি (Some useful terms) :

(i) **কুলম্ব** (Coulomb) : ইহা তড়িৎ পরিমাণের একক। যে পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ সিলভার নাইট্রেট ($AgNO_3$) দ্রবণে পাঠাইলে রাসায়নিক

ক্রিয়ায় ঋণাত্মক তড়িৎদ্বারে 0·0011182 গ্র্যাম সিলভার জমা হয়, তাহাকে এক কুলম্ব তড়িৎ পরিমাণ বলা হয়।

(ii) **ভোল্ট** (Volt) : ভোল্ট বিভব-পার্থক্যের একক। কোন পরিবাহীর উচ্চ-বিভব বিন্দু হইতে নিম্ন-বিভব বিন্দুতে 1 কুলম্ব তড়িৎ-আধান পাঠাইতে যদি 1 জুল (Joule) কার্য করিতে হয়, তবে ঐ বিন্দুদ্বয়ের বিভব-পার্থক্য 1 ভোল্ট বলা হইবে। আন্তর্জাতিক হিসাবে ওয়েস্টন ক্যাডমিয়াম কোষের তড়িচ্চালক বলের $\frac{1}{1{\cdot}0183}$ অংশকে 1 আন্তর্জাতিক ভোল্ট বলা হয়। ইহা সাধারণ ভোল্টের 1·00033 গুণ।

(iii) **অ্যাম্পিয়ার** (Ampere) : অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহমাত্রার একক। কোন সিলভার নাইট্রেট দ্রবণে প্রবাহমাত্রা যদি এইরূপ হয় যাহাতে প্রতি সেকেণ্ডে ঋণাত্মক তড়িৎদ্বারে 0·0011182 গ্র্যাম সিলভার জমা হয়, তবে ইহাকে এক অ্যাম্পিয়ার প্রবাহমাত্রা বলে। ইহাকে অ্যাম্পিয়ারের আন্তর্জাতিক সংজ্ঞাও বলে।

(iv) **ওহ্‌ম** (Ohm) : রোধের একক ওহ্‌ম। ইহার ব্যবহারিক একক হইল—কোন পরিবাহীর দুইপ্রান্তে এক ভোল্ট বিভব-পার্থক্য সৃষ্টি করিলে যদি প্রবাহমাত্রা এক অ্যাম্পিয়ার হয়, তবে পরিবাহীর রোধকে এক ওহ্‌ম বলা হয়।

$$\text{অর্থাৎ, ওহ্‌ম} = \frac{\text{ভোল্ট}}{\text{অ্যাম্পিয়ার}}\ ।$$

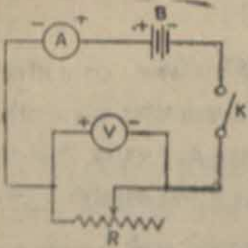
আন্তর্জাতিক ওহ্‌ম : 14·4521 গ্র্যাম বিশুদ্ধ পারদ 0°C তাপমাত্রায় 106·3 সে.মি. দীর্ঘ স্তম্ভের আকারে রাখিলে উহার যে রোধ হয় তাহাকে এক আন্তর্জাতিক ওহ্‌ম বলে।

1 আন্তর্জাতিক ওহ্‌ম = 1·000495 ওহ্‌ম।

2.3. ওহ্‌ম সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Experimental verification of Ohm's law) :

একটি সাধারণ তড়িৎ-বর্তনীর সাহায্যে ওহ্‌ম-সূত্রের সত্যতা সহজেই প্রমাণ করা যায় (চিত্র 2.2)। চিত্রে A প্রবাহমাত্রার একটি মাপ-যন্ত্র অ্যাম্মিটার (ammeter), V একটি ভোল্টমিটার (voltmeter)। ইহার সাহায্যে বিভব-পার্থক্য মাপা যায়। তড়িৎ-বর্তনীর সহিত একটি পরিবর্তনশীল

রোধ R যুক্ত আছে। B একটি তড়িৎ-কোষ। K চাবির সংযোগে বর্তনীটি সংহত করিয়া R-এর বিভিন্ন মান লইলে দেখা যাইবে যে, অ্যাম্মিটারে প্রবাহমাত্রার তারতম্য ঘটিতেছে। রোধের R_1, R_2, R_3 ইত্যাদি মানে প্রবাহমাত্রার মান যথাক্রমে I_1, I_2, I_3 ইত্যাদি হইলে দেখা যাইবে।



চিত্র 2.2

$$I_1R_1 = I_2R_2 = I_3R_3 = \cdots\cdots$$

ইত্যাদি। প্রতি ক্ষেত্রেই লক্ষ্য রাখিতে হইবে, পরীক্ষাকালে বর্তনীতে তাপমাত্রা যেন পরিবর্তিত না হয়।

2.4. আপেক্ষিক রোধ (Specific resistance or Resistivity) :

পরিবাহীর রোধ উহার তাপমাত্রা, উপাদান ও আকারের উপর নির্ভর করে। তাপমাত্রা ও উপাদান স্থির থাকিলে রোধ, (i) **দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক** ও (ii) **প্রস্থচ্ছেদের ব্যস্তানুপাতিক** হয়।

কোন পরিবাহীর দৈর্ঘ্য l, প্রস্থচ্ছেদ A এবং রোধ R দ্বারা সূচিত করিলে আমরা লিখিতে পারি,

$R \propto l$, যখন A ধ্রুবক।

এবং $R \propto \frac{1}{A}$, যখন l ধ্রুবক

$\therefore$ $R \propto \frac{l}{A}$ যখন A এবং l উভয়েই পরিবর্তিত হয়।

$\therefore$ $R = \rho \frac{l}{A}$ বা $\rho = R\frac{A}{l}$.

ρ এখানে ধ্রুবক। ইহাকে পরিবাহীর **রোধাঙ্ক** বা **আপেক্ষিক রোধ** বলা হয়। $l = 1$ সে.মি., $A = 1$ বর্গ সে.মি. ধরিলে, $\rho = R$. অর্থাৎ, **একক দৈর্ঘ্য ও একক প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট পরিবাহীর রোধকে ঐ পরিবাহীর উপাদানের আপেক্ষিক রোধ বলে।** উদাহরণস্বরূপ, নাইক্রোম তারের আপেক্ষিক রোধ ·000110, ইহার অর্থ, এক সে.মি. বাহুবিশিষ্ট একটি নাইক্রোম ঘনকের দুই বিপরীত পৃষ্ঠের মধ্যে রোধ ·000110 ওহ্‌ম।

$\rho = R\frac{A}{l}$ সূত্র হইতে, ρ-র একক পাওয়া যাইবে।

$$\rho = \frac{R\ (\text{ওহ্‌ম}) \times A\ (\text{বর্গ সে.মি.})}{l\ (\text{সে.মি.})} = \frac{RA}{l}\ \text{ওহ্‌ম-সে.মি.}$$

$\therefore$ ρ-র একক ওহ্‌ম-সে.মি. (ohm-cm.)।

পরিবাহীর রোধের বিপরীত রাশিকে **পরিবাহিতা** (conductance) বলে। রোধ যত কম হইবে পরিবাহিতা তত বেশী হইবে। কোন পরিবাহীর রোধ R হইলে, উহার পরিবাহিতা, $K=\frac{1}{R}$.

আমরা পরিবাহী বলিতে, যাহার ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটে, তাহাকে বুঝি। অনেক সময় প্রবাহমাত্রা কমাইবার বা নিয়ন্ত্রণের জন্য পরিবাহী ব্যবহার করি। সেইক্ষেত্রে তাহাকে সাধারণভাবে পরিবাহী না বলিয়া রোধক (resistor) বলা হয়।

2.4a. রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক (Temperature-coefficient of resistance) :

সাধারণভাবে পরিবাহীর রোধ তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল, তাপমাত্রার বৃদ্ধিতে রোধ বৃদ্ধি পায়। কিছু আংশিক পরিবাহী যথা কার্বন এবং তড়িৎ-বিশ্লেষ্য, যথা, কপার সালফেট, সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ, ইত্যাদির রোধ তাপমাত্রার বৃদ্ধির সহিত কমিয়া থাকে।

প্রতি ডিগ্রী সেলসিয়াস (°C) তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য একক রোধ-সম্পন্ন কোন রোধকের যে পরিমাণ রোধ বৃদ্ধি বা হ্রাস পায় তাহাকে উক্ত রোধকের উপাদানের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক বলে। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সহিত রোধ বৃদ্ধি পাইলে এই গুণাঙ্ককে ধনাত্মক এবং হ্রাস পাইলে ঋণাত্মক বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ, তামার রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক $\cdot 0043/°C$, ইহার অর্থ, 1 ওহ্‌ম রোধসম্পন্ন কোন তামার তারের 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিলে উহার রোধ $1+\cdot 0043$ ওহ্‌ম হয়। কোন পরিবাহীর $t°C$ তাপমাত্রায় রোধ R_t এবং $0°C$-এ রোধ R_0 হইলে, $R_t=R_0(1+\alpha t)$, α-কে রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক বলে।

তাপমাত্রা ব্যতীত আরও কয়েকটি কারণে পরিবাহীর রোধের তারতম্য ঘটে। যেমন, আলো, অপদ্রব্য ও চুম্বকের প্রভাবে রোধ পরিবর্তিত হয়। সেলেনিয়াম ধাতুর রোধ আলোর প্রভাবে কমে, বিস্মাথের রোধ চৌম্বকক্ষেত্রে বৃদ্ধি পায়। চাপের হ্রাসবৃদ্ধিতে কার্বন-গুঁড়ার রোধের তারতম্য ঘটে। সংকর ধাতুর রোধ উহার উপাদান ধাতুগুলির রোধের সমষ্টির বেশী হয়।

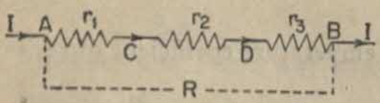
2.5. একাধিক রোধকের সংযোগ (Combination of resistors) :

একাধিক রোধককে একত্রে জুড়িয়া যে রোধ পাওয়া যায় তাহাকে ঐ সকল রোধকের **তুল্যাঙ্ক-রোধ** (Equivalent resistance) বলে। ইহার অর্থ, রোধকগুলির পরিবর্তে তুল্যাঙ্ক-রোধসম্পন্ন একটিমাত্র রোধক ব্যবহার

করিলে বর্তনীতে মূল প্রবাহমাত্রার কোন পরিবর্তন ঘটে না। রোধকগুলিকে শ্রেণীবদ্ধ বা সমান্তরালভাবে বা উহাদের সমন্বয়ে অন্যভাবেও সংযুক্ত করা যায়।

2.5a. রোধকের শ্রেণীবদ্ধ সংযোগ (Series connection of resistors) :

একাধিক রোধককে যদি এমনভাবে যোগ করা যায়, যাহাতে সবগুলির ভিতর দিয়া একই প্রবাহমাত্রা ঘটে তবে ঐ সজ্জাকে শ্রেণীবদ্ধ সংযোগ বলে।



চিত্র 2.3

চিত্রে (চিত্র 2.3) r_1, r_2, r_3 তিনটি রোধককে A এবং B বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে শ্রেণীবদ্ধভাবে সংযুক্ত করা হইয়াছে। ইহাদের ভিতর প্রবাহমাত্রা I, A হইতে B বিন্দু-অভিমুখী। A বিন্দুতে বিভব V_A, B বিন্দুতে বিভব V_B ধরিলে, A এবং B-এর মধ্যে বিভব পার্থক্য $V_A - V_B$. এখন r_1 এবং r_2-র সংযোগ-বিন্দু C-তে বিভব V_C এবং r_2 এবং r_3-র সংযোগবিন্দু D-তে বিভব V_D ধরিয়া ওহমের সূত্র হইতে লেখা যায়,

$$V_A - V_C = Ir_1$$
$$V_C - V_D = Ir_2$$
$$V_D - V_B = Ir_3$$

যোগ করিয়া, $V_A - V_B = I(r_1 + r_2 + r_3) \cdots\cdots (1)$

এখন, r_1, r_2, r_3-র পরিবর্তে R রোধের একটিমাত্র রোধক ব্যবহার করিলে যদি প্রবাহমাত্রা I অপরিবর্তিত থাকে, তবে

$V_A - V_B = I.R \cdots\cdots (2)$

$\therefore$ তুল্যাঙ্করোধ, $R = r_1 + r_2 + r_3$ [(1) ও (2) হইতে] এই সম্পর্ক যে-কোন সংখ্যক রোধের ক্ষেত্রে সত্য। সাধারণভাবে

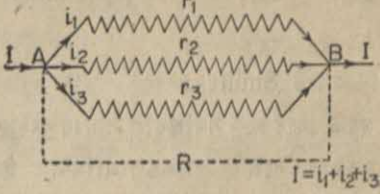
$$R = r_1 + r_2 + r_3 + \cdots\cdots r_n.$$

দেখা যাইতেছে, শ্রেণীবদ্ধ সংযোগে তুল্যাঙ্করোধ রোধগুলির সমষ্টির সমান।

2.5b. রোধকের সমান্তরাল সংযোগ (Parallel connection of resistors) :

একাধিক রোধককে যদি বর্তনীর দুই বিন্দুর মধ্যে এমনভাবে যোগ করা যায় যাহাতে উহাদের একপ্রান্ত একটি বিন্দুতে ও অন্যপ্রান্তগুলি অপর বিন্দুতে যুক্ত হয়, তবে ঐ সজ্জাকে সমান্তরাল সংযোগ বলে।

চিত্রে (চিত্র 2.4) r_1, r_2, r_3 তিনটি রোধককে এইরূপভাবে A এবং B বিন্দুর মধ্যে সংযুক্ত করা হইয়াছে। মূলপ্রবাহ I, A বিন্দুতে i_1, i_2 এবং i_3—তিনটি ভাগে বিভক্ত হইয়া যথাক্রমে r_1, r_2 এবং r_3-র মধ্য দিয়া গিয়াছে এবং B বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। A এবং B বিন্দুর মধ্যে বিভবপার্থক্য $V_A - V_B$ হইলে, ওহ্‌ম সূত্রানুযায়ী,



চিত্র 2.4

$$i_1 = \frac{V_A - V_B}{r_1}$$

$$i_2 = \frac{V_A - V_B}{r_2}$$

$$\text{এবং } i_3 = \frac{V_A - V_B}{r_3}$$

যোগ করিয়া, $i_1 + i_2 + i_3 = (V_A - V_B)\left[\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right]$

$$\text{বা, } I = i_1 + i_2 + i_3 = (V_A - V_B)\left[\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right] \cdots\cdots(3)$$

রোধকগুলির পরিবর্তে R মানের একটিমাত্র রোধক ব্যবহার করিলে যদি A এবং B-এর মধ্যে প্রবাহমাত্রা একই থাকে, তবে,

$$I = \frac{V_A - V_B}{R} \cdots\cdots(4)$$

$\therefore$ (3) এবং (4) হইতে, $\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$

R উহাদের তুল্যাঙ্ক রোধ। সাধারণভাবে $\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \cdots\cdots + \frac{1}{r_n}$.

দেখা যাইতেছে, সমান্তরাল সংযোগের ক্ষেত্রে তুল্যাঙ্ক রোধের অন্যোন্যক রোধকগুলির অন্যোন্যকগুলির সমষ্টির সমান।

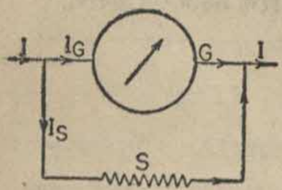
$r_1 = 4\Omega$(ওহ্‌ম), $r_2 = 5\Omega$, $r_3 = 6\Omega$ ধরিলে।

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{15+12+10}{60} = \frac{37}{60}\Omega.$$

$\therefore R=\frac{60}{37}=1{\cdot}85\Omega$ ইহা ক্ষুদ্রতম রোধ (4Ω) অপেক্ষাও কম। সুতরাং, সমান্তরাল সংযোগের ফলে তুল্যাঙ্ক রোধ ক্ষুদ্রতম রোধ অপেক্ষাও কমিয়া যায়।

2.6. সাণ্ট (Shunt) :

দুইটি রোধককে সমান্তরাল সজ্জায় সংযুক্ত করিলে একটিকে অন্যটির সাণ্ট বা বিকল্প পথ বলে। গ্যালভ্যানোমিটার ইত্যাদি সুবেদী যন্ত্রে বেশীমাত্রায় তড়িৎ প্রবাহিত হইলে যন্ত্রটি বিনষ্ট হওয়ার আশঙ্কা থাকে। যন্ত্রের সমান্তরালে এইরূপ সাণ্ট ব্যবহার করিয়া বেশীর ভাগ প্রবাহকে সাণ্টের ভিতর দিয়া চালনা করা হয়। 2·5 চিত্রে এইরূপ সাণ্টের ব্যবস্থা দেখানো হইয়াছে। গ্যালভ্যামিটারের রোধ G, সাণ্টের মান S, গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর দিয়া প্রবাহ I_G এবং সাণ্টের ভিতর দিয়া প্রবাহ I_S হইলে, $I_GG=V=$গ্যালভ্যানোমিটার বা সাণ্টের দুই প্রান্তের বিভব-প্রভেদ।



চিত্র 2.5

$$\text{আবার, } I_SS=V \quad \therefore \quad I_GG=I_SS.$$

$$\therefore \quad \frac{I_G}{I_S}=\frac{S}{G} \text{ বা } \frac{I_G+I_S}{I_S}=\frac{S+G}{G}.$$

$$\therefore \quad \frac{I}{I_S}=\frac{S+G}{G}, \qquad I=I_S+I_G=\text{মূলপ্রবাহ।}$$

$$\therefore \quad I_S=\frac{G}{G+S}I, \text{ এবং } I_G=I-I_S=I\left(1-\frac{G}{G+S}\right)=\frac{S}{G+S}.I.$$

$I_G=\frac{S}{G+S}.I$ সমীকরণ হইতে দেখা যাইতেছে, I_G-র মান কম করিতে হইলে S-র মান কম করা দরকার। এই সম্পর্ক হইতে আমরা বিভিন্ন I_G-র জন্য S এর মান বাহির করিতে পারি। যেমন, মূলপ্রবাহের এক-শতাংশ গ্যালভানোমিটারের ভিতর দিয়া পাঠাইতে হইলে,

$$\frac{I_G}{I}=\frac{1}{100}, \quad \therefore \quad \frac{1}{100}=\frac{S}{G+S} \text{ অর্থাৎ, } S=\frac{G}{99}.$$

উদাহরণ : (1) 20Ω রোধসম্পন্ন একটি গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর দিয়া 1 মিলি অ্যাম্পিয়ার পর্যন্ত প্রবাহমাত্রা ঘটিলে যন্ত্রটির কোন ক্ষতি হইবে

না। 0·2 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ গ্যালভ্যানোমিটারে আসিয়া পৌছিলে উহার নিরাপত্তার জন্য কত মানের সান্ট ব্যবহার করিতে হইবে? সান্ট ও গ্যালভ্যানোমিটারের তুল্যাঙ্ক রোধ কত হইবে? [J. Entrance 1973]

উত্তর : এখানে $G=20\Omega$, $I_G=\cdot001$ অ্যাম্পিয়ার, $I=\cdot2$ অ্যাম্পিয়ার।

$$I_G=\frac{S}{G+S}I$$ সূত্র হইতে নির্ণেয় সান্ট S-র মান পাওয়া যাইবে।

$$\therefore \quad \cdot001=\frac{S}{20+S}\times\cdot2 \text{ বা, } S=\frac{20}{199} \text{ বা } \mathbf{\cdot1005\Omega} \text{ (প্রায়)}$$

তুল্যাঙ্ক-রোধ R হইলে, $\frac{1}{R}=\frac{1}{20}+\frac{199}{20}=10 \quad \therefore \quad R=\mathbf{0{\cdot}1}\Omega$

(2) একই উপাদান ও প্রস্থচ্ছেদযুক্ত তিনটি তারের দৈর্ঘ্যের অনুপাত 1 : 2 : 3 এবং উহারা সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত। মূল প্রবাহমাত্রা 5 অ্যাম্পিয়ার হইলে প্রত্যেক তারে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর। [J. Entrance, '73]

উত্তর : তার তিনটি একই উপাদানের ও সমান প্রস্থচ্ছেদের হওয়ায় উহাদের রোধগুলি দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক। সুতরাং ধরা যাক, রোধগুলি যেন, r, $2r$ ও $3r$ এবং উহাদের ভিতর প্রবাহমাত্রাগুলি যেন i_1, i_2 এবং i_3. প্রবাহমাত্রা রোধের ব্যস্তানুপাতিক,

$$\therefore \quad i_1 : i_2 : i_3=\frac{1}{r} : \frac{1}{2r} : \frac{1}{3r}$$

$$\therefore \quad \text{অর্থাৎ, } i_2=\frac{i_1}{2},\ i_3=\frac{i_1}{3}$$

$$\therefore \quad i_1+i_2+i_3=I=i_1(1+\tfrac{1}{2}+\tfrac{1}{3})=\tfrac{11}{6}i_1$$

এখানে I = মূল প্রবাহমাত্রা = 5 অ্যাম্পিয়ার।

$$\text{সুতরাং, } i_1=\frac{6}{11}I=\frac{6\times5}{11}=\frac{30}{11} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

$$i_2=\frac{i_1}{3}=\frac{15}{11} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

$$\text{এবং } i_3=\frac{i_1}{3}=\frac{10}{11} \text{ অ্যাম্পিয়ার।}$$

2.7. কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ (Internal resistance of a cell) :

তড়িৎ-কোষে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে দুই তড়িৎদ্বারে যে বিভব-পার্থক্য ঘটে তাহাকে কোষের তড়িচ্চালক বল বলে। কিন্তু যখন তড়িৎ-কোষ বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠায় তখন কোষের তরলের আভ্যন্তরীণ রোধের জন্য পাত

দুইটির মধ্যে কার্যকরী বিভব-পার্থক্য তড়িচ্চালক বলের কম হয়। তখনকার ঐ বিভব-পার্থক্যকে কোষের বিভব-পার্থক্য বলা হয়। কোষের তড়িচ্চালক বল E, পূর্ণবর্তনীর ক্ষেত্রে বিভব-পার্থক্য V, কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ r এবং বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা I হইলে, $I=\frac{E}{R+r}$, এখানে R=বহির্বর্তনীর রোধ

আবার, $I=\frac{V}{R}$. এই দুই সম্পর্ক হইতে,

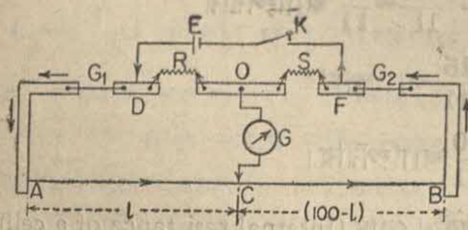
$$\therefore \quad E-Ir=IR=V.$$

দেখা যাইতেছে, Ir পরিমাণ বিভব কোষের মধ্যে ব্যয়িত হয়, E-এর এই পরিমাণ পতনকে নষ্ট ভোল্ট (lost volt) বলে।

কোষের তড়িচ্চালক বল (E) উৎসে সীমাবদ্ধ এবং স্থির মানের। বহির্বর্তনীর রোধের উপরেও ইহা নির্ভর করে না। অন্যদিকে বর্তনীর যে-কোন দুই বিন্দুতে বিভব-পার্থক্য বর্তনীর প্রবাহমাত্রা এবং রোধের উপর নির্ভরশীল। তড়িচ্চালক বলকে কারণ ধরিলে বিভব-পার্থক্যকে উহার ফল বলা যায়।

2.8. রোধের পরিমাপ (Measurement of resistance) :

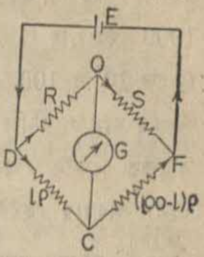
মিটার ব্রীজ (Meter Bridge) : যে সমস্ত যন্ত্রের সাহায্যে রোধ পরিমাপ করা হয়, মিটার ব্রীজ তাহাদের অন্যতম। 2.6 চিত্রে একটি মিটার ব্রীজ দেখান হইয়াছে। একটি কাঠের পাটাতনের উপরে কয়েকটি তামার পাত আটকানো থাকে। AB একটি এক মিটার লম্বা উচ্চ রোধসম্পন্ন পরিবাহী তার। R এবং S দুইটি রোধ পাতের দুই ফাঁকে সংযুক্ত করা হয়। কতকগুলি ব্রীজে G_1 এবং G_2 দুইটি অতিরিক্ত ফাঁক রাখা থাকে। সাধারণভাবে G_1 এবং G_2 পরিবাহী তার দ্বারা পাতের সহিত যুক্ত করিয়া বন্ধ করা হয়।



চিত্র 2.6

ব্রীজের D এবং F বিন্দুর মধ্যে তড়িৎ-কোষ E, O এবং C বিন্দুর মধ্যে গ্যালভানোমিটার G যুক্ত করা হয়। C বিন্দুর সংযোজককে জকি (jockey) বলে। ইহা AB তারের যে-কোন বিন্দুতে ইচ্ছামত যুক্ত করা যাইতে পারে। তীরচিহ্নের সাহায্যে ব্রীজে তড়িৎপ্রবাহ দেখান হইয়াছে। এখন জকিকে AB তারের উপর

সরাইয়া এমন এক অবস্থা পাওয়া যাইবে যখন গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর দিয়া কোন প্রবাহ হইবে না। এই অবস্থাকে ব্রীজের সাম্যবস্থা বা **তোল অবস্থা** (null condition) বলে। AB তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ ρ হইলে এবং জকির C অবস্থানে তোল অবস্থা পাওয়া যাইলে আমরা 2.7 চিত্রের সাহায্যে ব্রীজের রোধসজ্জা দেখাইতে পারি। এখানে AC অংশের রোধ $l\rho$ এবং CB অংশের রোধ $(100-l)\rho$.



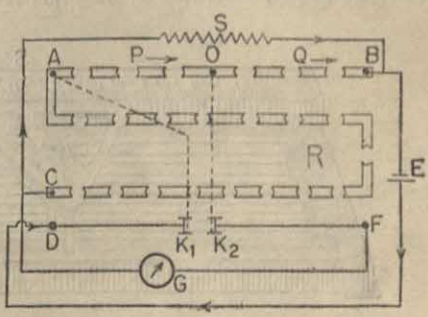
চিত্র 2.7

রোধের এইরূপ সজ্জাকে **হুইটস্টোন ব্রীজ বর্তনী** (Wheatstone Bridge circuit) বলে। এইরূপ বর্তনীতে সাম্যবস্থার শর্ত হইল,

$$\frac{\text{প্রথম বাহুর রোধ } (R)}{\text{দ্বিতীয় বাহুর রোধ } (S)}=\frac{\text{তৃতীয় বাহুর রোধ } (l\rho)}{\text{চতুর্থ বাহুর রোধ } \{(100-l)\rho\}}$$

অর্থাৎ, $\frac{R}{S}=\frac{l}{100-l}$, সুতরাং R জানা থাকিলে ব্রীজের স্কেল হইতে l মাপিয়া অজ্ঞাত রোধ S বাহির করা যায়।

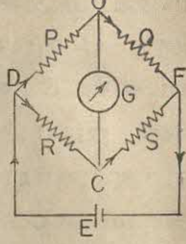
পোস্ট অফিস বাক্স (Post office Box) : হুইটস্টোন ব্রীজের অপর একটি বাস্তবায়িত রূপ হইল পোস্ট অফিস বাক্স। ইহার সাহায্যেও কোন অজ্ঞাত রোধ নির্ণয় করা যায়। 2.8 চিত্রে একটি পোস্ট অফিস বাক্সের গঠন দেখান হইয়াছে। এই যন্ত্রে একটি বাক্সের ভিতর তিন সারিতে কতকগুলি রোধ সাজান থাকে। হুইটস্টোন ব্রীজের প্রথম বাহুকে P ধরিলে, Q ইহার দ্বিতীয় বাহু, O দুই বাহুর সংযোজক বিন্দু। তৃতীয় বাহুটি R, ইহাতে বিভিন্ন মানের রোধ থাকে। চিত্রের C এবং B বিন্দুর মধ্যে



চিত্র 2.8

চতুর্থ বাহু S সংযুক্ত করা হয়। O এবং C বিন্দুর মধ্যে গ্যালভ্যানোমিটার ও D এবং B বিন্দুর মধ্যে তড়িৎ-কোষ যুক্ত। যাহাতে সরাসরি বর্তনী পূর্ণ না হয়, এই কারণে K_1 এবং K_2 দুইটি চাবি ব্যবহার করা হয়।

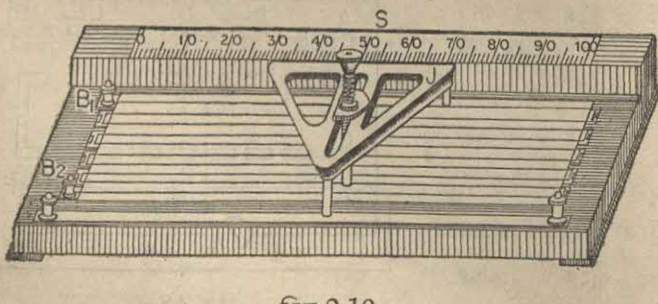
2.9 চিত্রে রোধগুলির সজ্জা দেখান হইয়াছে (চিত্রে F বিন্দুর স্থলে B হইবে), P এবং Q বাহুদ্বয়ে 10, 100, 1000 ইত্যাদি মানের রোধ থাকে। P এবং Q-তে 10 বা 100 মানের রোধের প্লাগ তুলিয়া R-এর মান পরিবর্তিত করিতে থাকিলে একসময় ব্রীজের তৌল অবস্থা আসিবে। ব্রীজের এই সাম্য অবস্থায় হুইটস্টোন ব্রীজ-নীতি অনুযায়ী $\frac{P}{Q}=\frac{R}{S}$ হইবে। সুতরাং P, Q, R দেখিয়া S-এর মান সহজেই বাহির করা যায়। $\frac{P}{Q}$ অনুপাতকে 10, 100 ইত্যাদি লইলে, $S=\frac{1}{10}R$, $\frac{1}{100}R$ ইত্যাদি হইবে। অর্থাৎ $\frac{P}{Q}$-র মান বাড়াইলে S-র সূক্ষ্মতর পরিমাপ সম্ভব হইবে।



চিত্র 2.9

2.9. পোটেন্সিওমিটার (Potentiometer) :

ভোল্টমিটারের সাহায্যে কোন কোষের তড়িচ্চালক বল বা কোন বর্তনীর রোধকের প্রান্তদ্বয়ের বিভব-পার্থক্য পরিমাপ করা হয়। কিন্তু ইহার সাহায্যে তড়িচ্চালক বল বা বিভব-পার্থক্যের যথার্থ মান পাওয়া যায় না, সামান্য কম পাওয়া যায়। পোটেন্সিওমিটার এমন একটি যন্ত্র যাহার সাহায্যে উক্ত পরিমাপ-গুলি সঠিকভাবে করা যায়। 2.10 চিত্রে একটি পোটেন্সিওমিটারের গঠন দেখানো হইয়াছে। একটি কাঠের পাটাতনের উপর প্রতিটি 1 মিটার দীর্ঘ



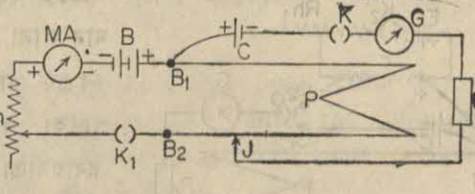
চিত্র 2.10

মোট 10টি সমান্তরাল লাইন বরাবর একটি সরু তার B_1 এবং B_2 বন্ধনী স্ক্রুর সহিত যুক্ত। B_1 এবং B_2-র মধ্যে তড়িৎ-কোষ যুক্ত করিলে তার বরাবর বিভবপতন (Potential drop) ঘটিয়া থাকে।

B_1 বিন্দু এবং যে-কোন একটি বিন্দুর মধ্যে পোটেন্সিওমিটার তারের l দৈর্ঘ্য থাকিলে ঐ দুই বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্য $e=\rho l$, এখানে ρ=তারের একক দৈর্ঘ্যে বিভব-পতন। পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যে কিভাবে কোন তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বল এবং কোন বর্তনীর প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করা হয় তাহা দেখান হইল।

2.10. কোষের তড়িচ্চালক বল নির্ণয় (Determination of the e.m.f. of a cell)

B_1PB_2 একটি পোটেন্সিওমিটারের তার—ইহার দৈর্ঘ্য 10 মিটার বা 1000 সে.মি.। ব্যাটারী B, মিলি অ্যাম্মিটার MA, পরিবর্তনীয় রোধ Rh, চাবি K_1-এর সাহায্যে পোটেন্সিওমিটার বর্তনী সম্পূর্ণ করা হইল।



চিত্র 2.11

C একটি তড়িৎ-কোষ যাহার তড়িচ্চালক বল E নির্ণয় করিতে হইবে। ইহার ধনাত্মক মেরু B_1-এর সহিত এবং অপর প্রান্ত চাবি K, গ্যালভ্যানেমিটার G, একটি রোধক R_1-এর মধ্য দিয়া জকি J-র সহিত যুক্ত।

পোটেন্সিওমিটার তারের মোট রোধ R ওহ্‌ম এবং পোটেন্সিওমিটার বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ i মিলি অ্যাম্পিয়ার হইলে, B_1 এবং B_2-র মধ্যে বিভব-পার্থক্য $V=\frac{iR}{1000}$ ভোল্ট এবং একক দৈর্ঘ্যে বিভবপতন,

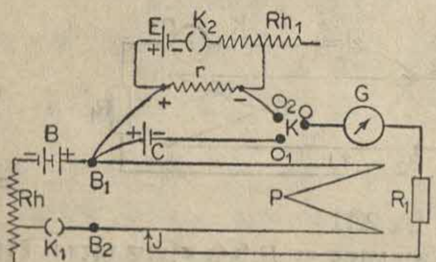
$$\rho=\frac{V}{1000}=\frac{iR}{1000\times1000} \text{ ভোল্ট/সে.মি.}$$

এখন K চাবি বন্ধ করিয়া জকিকে বিভিন্ন তারের বিভিন্ন অংশে সংযুক্ত করিলে জকির এমন এক অবস্থা পাওয়া যাইবে যখন গ্যালভ্যানোমিটারে কোন বিক্ষেপ পাওয়া যাইবে না। B_1 হইতে উক্ত বিন্দু পর্যন্ত তারের দৈর্ঘ্য l সে.মি. হইলে, C কোষের তড়িচ্চালক বল $E=\rho l$, কারণ এইক্ষেত্রে B_1 ও জকির সংযোগবিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্য ও C-র তড়িচ্চালক বল গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত বিপরীতভাবে কার্যকরী এবং প্রবাহ বিপরীতমুখী। যদি $E=\rho l$ হয় তবে বিপরীতমুখী দুই প্রবাহমাত্রা পরস্পরকে প্রশমিত করিবে, ফলে গ্যালভ্যানোমিটারে কোন বিক্ষেপ পাওয়া যাইবে না।

$\therefore \quad E = \rho l = \frac{iRl}{1000 \times 1000}$. এখন R জানিয়া এবং মিলি অ্যাম্মিটারে i ও জকির সাহায্যে l বাহির করিয়া E-র মান পাওয়া যায়। গ্যালভ্যানোমিটারে যাহাতে হঠাৎ বেশী মাত্রায় প্রবাহ না ঘটে এই কারণে গ্যালভ্যানোমিটার বর্তনীতে একটি উচ্চরোধ R_1 যোগ করা হয়।

2.11. বর্তনীর প্রবাহমাত্রা নির্ণয় (Determination of the current flowing in a circuit) :

মনে কর, কোষ E, চাবি K_2, পরিবর্তনীয় রোধ Rh_1 এবং রোধক r-এর সাহায্যে একটি তড়িৎবর্তনী করা আছে। এই বর্তনীর প্রবাহমাত্রা বাহির করিতে হইবে। r-এর মান জানা থাকিলে r-এর দুই প্রান্তের বিভব-পার্থক্য বাহির করিয়া প্রবাহমাত্রা বা হির করা সম্ভব। এই কারণে এই বর্তনীর সহিত একটি পোটেন্সিওমিটার বর্তনী যুক্ত করা হইল। r-এর ধনাত্মক প্রান্ত এবং জানা তড়িচ্চালক বলসম্পন্ন একটি কোষের (C) ধনাত্মক মেরু B_1-এর সহিত যুক্ত করা হইল। C এবং r-এর ঋণাত্মক প্রান্তদ্বয় একটি দুইমুখী চাবি K-এর সহিত যুক্ত।



চিত্র 2.12

O_1 এবং O-র মধ্যে চাবি বন্ধ করা হইল। C-কোষের তড়িচ্চালক বল E হইলে এবং ইহা যদি পোটেন্সিওমিটারের l_1 দৈর্ঘ্যের তারের দুই প্রান্তের বিভব-পার্থক্যকে প্রশমিত করে (2.10 দ্রষ্টব্য), তবে

$$E = \frac{iRl_1}{1000 \times 1000}, \quad R = \text{পোটেন্সিওমিটারের তারের রোধ}$$

$i =$ „ বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ (মিলি অ্যাম্পিয়ার)

এইবার, O_1 O-র চাবি খুলিয়া O_2 O-র মধ্যস্থিত ফাঁকে চাবি বসাইলে যদি r-এর প্রান্তীয় বিভব-পার্থক্য l_2 দৈর্ঘ্যের তারের বিভব-পার্থক্যের সমান হয় তবে r-এর প্রান্তীয় বিভব-পার্থক্য, $e = \frac{iRl_2}{1000 \times 1000}$.

$$\therefore \quad \frac{E}{e}=\frac{l_1}{l_2} \text{ বা } e=E\frac{l_2}{l_1} \text{ ভোল্ট।}$$

প্রদত্ত বর্তনীর মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহ i অ্যাম্পিয়ার হইলে, $i=\frac{e}{r}=\frac{E}{r}\ \frac{l_2}{l_1}$

E এবং r জানা, সুতরাং l_2 এবং l_1 মাপিয়া i বাহির করা যায়।

প্রশ্নাবলী

1. ওহ্‌ম সূত্র বল এবং ব্যাখ্যা কর। কিভাবে ওহ্‌ম সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ করিবে? নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা লিখ। কুলম্ব, ভোল্ট, আন্তর্জাতিক ভোল্ট, অ্যাম্পিয়ার, আন্তর্জাতিক অ্যাম্পিয়ার, আন্তর্জাতিক ওহ্‌ম।

[State and explain Ohm's law. How do you verify Ohm's law experimentally ? Define the following terms : Coulomb, volt, international volt, ampere, international ampere, international ohm.]

2. পরিবাহীর রোধ কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে? আপেক্ষিক রোধের সংজ্ঞা দাও ও ব্যাখ্যা কর। রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক বলিতে কি বুঝ?

[On what factors does the resistance of a conductor depend ? Define and explain specific resistance. What do you understand by temperature-coefficient of resistance ?]

3. তুল্যাঙ্ক রোধ কি? কতকগুলি রোধককে শ্রেণী এবং সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিয়া প্রত্যেক ক্ষেত্রে তুল্যাঙ্ক রোধ বাহির কর।

[What is equivalent resistance ? Find in each case the equivalent resistance when some resistors are connected in series and in parallel.]

4. সান্ট কি? সান্ট ব্যবহারের উদ্দেশ্য কি? একটি সান্টযুক্ত গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ বাহির কর।

[What is a shunt ? What is the purpose of its use ? Find the resistance of a shunted galvanometer.]

5. কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ বলিতে কি বুঝ? কোন কোষের তড়িচ্চালক বল এবং বিভব-পার্থক্যের মধ্যে পার্থক্য কি?

[What do you mean by internal resistance of a cell ?

What is the distinction between electro-motive force and potential difference of a cell ?]

6. নাইক্রোম তারের আপেক্ষিক রোধ 120×10^{-6} ওহ্‌ম-সে.মি.। 10 মিটার দীর্ঘ 1 বর্গ মি.মি. প্রস্থচ্ছেদযুক্ত কোন নাইক্রোম তারের রোধ কত? তারটিকে মাঝখানে ভাঁজ করিয়া যদি দুই খোলামুখ যোগ করা যায় তখন রোধ কত হইবে? [H. S. '65]

[Nichrome has a resistivity of 120×10^{-6} ohm-cm. What is the resistance of 10 meters of nichrome wire of cross-section 1 sq. mm. ? What will be resistance when the wire is folded on itself and the free ends are joined together, thus halving the length ?] [Ans. 12Ω, 3Ω]

7. 1 মিটার দীর্ঘ এবং 2 মি.মি. ব্যাসযুক্ত একটি তারের মধ্য দিয়া 1·5 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হইল। তারের উপাদানের রোধাঙ্ক $2{\cdot}42 \times 10^{-6}$ ওহ্‌ম-সে.মি. হইলে তারের দুই প্রান্তে বিভব-পার্থক্য কত হইবে? [C. U. '49]

[A current of 1·5 amperes is passed through a wire of which the length is 1 metre and the diameter is 2 mm. If the specific resistance of the material of the wire is $2{\cdot}42 \times 10^{-6}$ ohm-cm., what will be the potential difference at the ends of the wire ?] [Ans. 0 0116 volt.]

8. 15 ওহ্‌ম রোধবিশিষ্ট একটি অ্যাম্মিটারের মধ্য দিয়া 5 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ যাইলে পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ হয়। ইহাকে 10 অ্যাম্পিয়ার পর্যন্ত পাঠের উপযোগী মিটারে পরিণত করিতে প্রয়োজনীয় সান্টের মান নির্ণয় কর।

[C. U. '66]

[An ammeter of resistance 15Ω gives a full-scale deflection when 5 amperes of current passes through it. Calculate the value of the shunt necessary to convert it into a meter reading upto 10 amperes.] [Ans. 15Ω]

9. 50 ওহ্‌ম রোধের দুইটি বাতিকে শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত করিয়া 100টি শ্রেণী-সমবায়ে সজ্জিত কোষের সহিত যুক্ত করা হইল। প্রত্যেকটি কোষের তড়িচ্চালক বল 1·5 ভোল্ট এবং আভ্যন্তরীণ রোধ 1 ওহ্‌ম হইলে, প্রত্যেকটি বাতির প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর। [H. S. '60]

[Two lamps, each of resistance 50 ohms are arranged

in series with 100 cells, all joined in series. If the internal resistance of each cell is 1 ohm and the e. m. f. of each cell is 1·5 volts, calculate the current in the lamps.]

[Ans. 0·75 amp.]

10. শ্রেণী-সংযোগে যুক্ত 1, 2 এবং 3 ওহ্‌ম রোধের তিনটি তারের প্রান্তে 1·5 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল এবং 3 ওহ্‌ম আভ্যন্তরীণ রোধের একটি লেক্ল্যান্স কোষ যুক্ত করা হইল। প্রত্যেক তারের প্রান্তীয় বিভব-পার্থক্য এবং কোষের ভিতর বিভব-পতন নির্ণয় কর। [H. S. '63]

[Three wires of resistances 1, 2 and 3 ohms are connected in series across a Leclanche cell of e. m. f. 1·5 volts and internal resistance 3 ohms. Calculate the potential difference across each of the wires and also the drop of potential inside the cell.]

[Ans. 0·166 volt, 0·332 volt, 0·498 volt, 0·504 volt.]

11. হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি কি? পোস্ট-অফিস বাক্সে এই নীতির সাহায্যে কিভাবে রোধ নির্ণয় করা হয়?

[What is Wheatstone bridge principle ? How resistance is measured with the help of this principle in a post-office box ?]

12. মিটার ব্রীজ কি? ইহার সাহায্যে রোধ নির্ণয় করিবার পদ্ধতি বল।

[What is a metre bridge ? Describe the method of determining resistance with its help.]

13. একটি পোটেন্সিওমিটারের গঠন বল। ইহার সাহায্যে কোন কোষের তড়িচ্চালক বল কিভাবে নির্ণয় করা যায়?

[Describe the construction of a potentiometer. How the e. m. f. of a cell can be measured with its help ?]

14. পোটেন্সিওমিটারের সাহায্যে কোন বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা নির্ণয়ের একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

[Describe an experiment to measure the current flowing in a circuit by a potentiometer.]

তৃতীয় অধ্যায়

তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফল

(Heating Effect of Current)

3.1. সূচনা (Introduction) :

কোন পরিবাহী তারের মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে তারটি উত্তপ্ত হয়। পরিবাহী তারে হাত দিয়া এই উষ্ণতা অনুভব করা বিপজ্জনক। সুতরাং পরোক্ষভাবে তারের উত্তপ্ত হওয়ার ঘটনাটি দেখা যাইতে পারে। একটি কাচের পাত্রে কিছুটা জল নাও। উহার মধ্যে পরিবাহী তারের একটি কুণ্ডলী রাখিয়া উহাতে কোষ ও চাবির মাধ্যমে তড়িৎপ্রবাহ চালাও। তড়িৎপ্রবাহের ফলে কুণ্ডলীতে তাপের উদ্ভব হইবে। জলের মধ্যে একটি থার্মোমিটার ডুবাইয়া জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি দেখিতে পাইবে। **তড়িৎ-প্রবাহের ফলে তাপের উদ্ভব হয়—এই ঘটনাকে তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফল বলে।** বৈদ্যুতিক স্টোভ, হিটার, কেট্‌লী, ইস্ত্রি, ইত্যাদি যন্ত্রপাতি তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফলের ব্যবহারিক প্রয়োগের উদাহরণ।

তড়িৎপ্রবাহের সময় গতিশীল ইলেকট্রনের সহিত পরিবাহীর অণুর পৌনঃ-পুনিক সংঘর্ষ বাধে। ইহাতে অণুগুলির গতিশক্তি বৃদ্ধি পায় এবং এই বর্ধিত গতিশক্তিই পরিবাহীর তাপমাত্রা বৃদ্ধির কারণ। প্রবাহ চলিবার কালে তড়িচ্চালক বল যে কাজ করে তাহা অন্যভাবে ব্যয়িত না হইলে সবটাই তাপে রূপান্তরিত হয়।

3.2. তড়িৎ-বর্তনীতে শক্তি ও ক্ষমতা (Energy and power in electrical circuits) :

ধরা যাক, কোন তড়িৎ-বর্তনীতে $R\Omega$ রোধসম্পন্ন একটি পরিবাহীর ভিতর দিয়া I অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ t সেকেণ্ড ধরিয়া চলিতেছে।

$\therefore$ পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভব-পার্থক্য $V=IR$.

t সেকেণ্ডে পরিবাহীর ভিতর দিয়া প্রবাহিত মোট আধান $Q=I\times t$ কুলম্ব

$\therefore$ Q পরিমাণ আধান V বিভব পার্থক্যে চালিত করিতে কৃতকার্য $W=V\times Q=V.I.t$ জুল

$\therefore$ প্রবাহের জন্য ব্যয়িত তড়িৎ-শক্তি $W=V.It$

অর্থাৎ, **জুল = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার × সেকেণ্ড।** 1 ভোল্ট বিভব-পার্থক্যে পরিবাহীর মধ্য দিয়া 1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎপ্রবাহ 1 সেকেণ্ড চলিলে যে পরিমাণ তড়িৎ-শক্তি ব্যয়িত হয় তাহাকে এক জুল বলে।

আবার, $W=V.I.t=I.R.I.t=I^2Rt.$

জুল = অ্যাম্পিয়ার² × ওহ্‌ম × সেকেণ্ড।

ব্যয়িত তড়িৎ-শক্তি সম্পূর্ণভাবে তাপ-শক্তিতে রূপান্তরিত হইলে, উৎপন্ন তাপ $=I^2Rt$ জুল। এই তাপ ক্যালরিতে প্রকাশ করিলে,

$$H=\frac{I^2Rt}{J} \text{ ক্যালরি} = 0\cdot24I^2Rt \text{ ক্যালরি।}$$

কোন রোধকের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ চলিলে ইহা যে হারে তড়িৎ-শক্তি ব্যয় করে, তাহাকে **ইহার তড়িৎ ক্ষমতা** বলে।

$$\text{অর্থাৎ, ক্ষমতা } P=\frac{\text{ব্যয়িত তড়িৎ-শক্তি}}{\text{সময়}}=\frac{W}{t}=V.I.$$

ক্ষমতার ব্যবহারিক একক ওয়াট (watt)। সুতরাং, **ওয়াট = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার।** কোন রোধক বা তড়িৎ-যন্ত্রের মধ্যে এক সেকেণ্ডে এক জুল পরিমাণ তড়িৎ-শক্তি ব্যয়িত হইলে উহার ক্ষমতাকে এক ওয়াট বলে। ইহার বৃহত্তর ব্যবহারিক একক, **কিলো-ওয়াট** (kilo-watt বা সংক্ষেপে kw) অর্থাৎ 1000 ওয়াট। তড়িৎ-শক্তির ব্যবহারিক একক, **ওয়াট-ঘণ্টা** (watt-hour),

1 ওয়াট-ঘণ্টা = 1 ওয়াট × 1 ঘণ্টা

তড়িৎ-শক্তির বাণিজ্যিক একক **কিলো-ওয়াট-ঘণ্টা** (kilo-watt-hour)।

$$1 \text{ কিলো-ওয়াট-ঘণ্টা} = \frac{\text{ওয়াট} \times \text{ঘণ্টা}}{1000}\text{।}$$

1 কিলো-ওয়াট হারে এক ঘণ্টা ধরিয়া সরবরাহ চলিলে যে তড়িৎ-শক্তি ব্যয় হইবে তাহাকে এক কিলো-ওয়াট-ঘণ্টা বা এক *B.O.T.* (Board of Trade unit) একক বলে।

$$\text{সুতরাং } B.O.T. \text{ একক} = \frac{\text{ওয়াট} \times \text{ঘণ্টা}}{1000}$$

$$=\frac{\text{ভোল্ট} \times \text{অ্যাম্পিয়ার} \times \text{ঘণ্টা}}{1000}.$$

1 কিলো-ওয়াট-ঘণ্টা = 1000 ওয়াট × ঘণ্টা।

= $1000 \times 60 \times 60$ ওয়াট × সেকেণ্ড

= $3{\cdot}6 \times 10^6$ জুল = $\frac{3{\cdot}6 \times 10^6}{4{\cdot}2}$ ক্যালরি

= $8{\cdot}6 \times 10^5$ ক্যালরি।

∴ *B.O.T.* একক $8{\cdot}6 \times 10^5$ ক্যালরি তাপশক্তির সমান।

3.3. জুলের সূত্র (Joule's law) :

বিজ্ঞানী প্রেস্‌কট জুল পরীক্ষা করিয়া দেখেন যে, পরিবাহীর রোধ, প্রবাহ-মাত্রা ও প্রবাহের সময়ের উপর উদ্ভূত তাপ নির্ভরশীল। $H = 0{\cdot}24I^2Rt$ সম্পর্কটিও জুলের সূত্র হইতে পাওয়া যায়। জুলের সূত্রগুলি নিম্নরূপ :

(1) **পরিবাহীর রোধ ও তড়িৎপ্রবাহের সময় অপরিবর্তিত থাকিলে পরিবাহীতে উদ্ভূত তাপ প্রবাহমাত্রার বর্গের সমানু-পাতিক।**

রোধ R, তড়িৎপ্রবাহের সময় t, প্রবাহমাত্রা I এবং উৎপন্ন তাপকে H দ্বারা সূচিত করিলে, প্রথম সূত্র অনুযায়ী, $H \propto I^2$, যখন R এবং t স্থির থাকে।

(2) **প্রবাহমাত্রা ও প্রবাহের সময় অপরিবর্তিত থাকিলে উৎপন্ন তাপ পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক।** অর্থাৎ $H \propto R$, যখন I এবং t অপরিবর্তিত থাকে।

(3) **প্রবাহমাত্রা ও পরিবাহীর রোধ অপরিবর্তিত থাকিলে উৎপন্ন তাপ পরিবাহীর ভিতর দিয়া প্রবাহের সময়ের সমানু-পাতিক।** অর্থাৎ, $H \propto t$, যখন I এবং R অপরিবর্তিত থাকে।

সূত্র তিনটিকে একত্রে প্রকাশ করিলে $H \propto I^2Rt$

অর্থাৎ $H = Ki^2Rt$, এখানে K = ভেদের ধ্রুবক।

পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে $K = \frac{1}{J}$, J = জুল তুল্যাঙ্ক

$$\therefore\ H = \frac{1}{J}I^2Rt$$

I-কে অ্যাম্পিয়ারে, R-কে ওহ্‌ম, t-কে সেকেণ্ডে প্রকাশ করিলে ও J-র মান 4·2 জুল/ক্যালরি লইলে উৎপন্ন তাপের (H) মান ক্যালরিতে পাওয়া যায়।

অর্থাৎ $H = \frac{1}{4{\cdot}2}I^2Rt$ ক্যালরি

= $0{\cdot}24I^2Rt$ ক্যালরি।

উদাহরণ (1) একটি বৈদ্যুতিক কেট্‌লির উত্তাপক উপাদানের রোধ 53Ω। কেট্‌লিটি 230 ভোল্ট লাইনের সহিত যুক্ত করিলে কত সময়ে 15°C তাপমাত্রার 1·5 কেজি জল স্ফুটনাঙ্কে পৌছিবে? [C. U. 1966]

উত্তর : 1·5 কেজি জলকে 15°C তাপমাত্রা হইতে 100°C-এ তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপ

$$H=1500(100-15)=1500\times 85 \text{ ক্যালরি}$$

মনে করি, নির্ণেয় সময় t সেকেণ্ড, সুতরাং t সেকেণ্ডে ব্যয়িত তড়িৎ-শক্তি

$$W=V.I.t \text{ জুল।}$$

এখানে V=বিভব-পার্থক্য=IR, I=প্রবাহমাত্রা, R=রোধ=53Ω

$$\therefore \quad W=V.I.t=V.\frac{V}{R}.\,t=\frac{230\times 230\times t}{53} \text{ জুল}$$

$$\therefore \quad H=\frac{W}{J}=\frac{230\times 230\times t}{4{\cdot}2\times 53} \text{ ক্যালরি।}$$

$$\therefore \quad \frac{230\times 230\times t}{4{\cdot}2\times 53}=1500\times 85$$

$$\therefore \quad t=\frac{1500\times 85\times 4{\cdot}2\times 53}{230\times 230} \text{ সেকেণ্ড}$$

$$= \textbf{8 মিনিট 53 সেকেণ্ড (প্রায়)।}$$

(2) কোন ইলেকট্রিক বাতিতে লেখা আছে 220V – 60W। বাতিটির রোধ কত? 1 দিনে উহার কতটুকু শক্তি ব্যয় হইবে? প্রতি $B.O.T.$ এককের মূল্য 0·25 টাকা হইলে, 1 দিনে বাতিটির জন্য খরচ কত?

উত্তর : আমরা জানি, ওয়াট=ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার এবং

$$\text{অ্যাম্পিয়ার}=\frac{\text{ভোল্ট}}{\text{ওহ্‌ম}}$$

$$\therefore \quad \text{ওয়াট}=\frac{\text{ভোল্ট}\times\text{ভোল্ট}}{\text{ওহ্‌ম}}, \text{ সুতরাং ওহ্‌ম}=\frac{\text{ভোল্ট}\times\text{ভোল্ট}}{\text{ওয়াট}}$$

$$=\frac{220\times 200}{60}=806{\cdot}67 \text{ ওহ্‌ম}$$

∴ বাতিটির রোধ=**806·67** ওহ্‌ম।

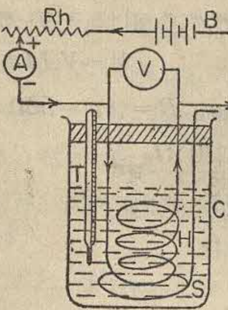
$$\text{দিন}=24 \text{ ঘণ্টা}, \quad \therefore \text{ কিলো-ওয়াট-ঘণ্টা}=\frac{60\times 24}{1000}$$

$$=\textbf{1·44 B.O.T. একক}$$

1 দিনে বাতিটির জন্য খরচ=25 × 1·44=**36 পয়সা**।

3.4. বৈদ্যুতিক উপায়ে জুল তুল্যাঙ্ক নির্ণয় (Determination of Joule's equivalent by electrical method) :

জুল-পদ্ধতি : তড়িৎ-শক্তির বিনিময়ে যে তাপ-শক্তি পাওয়া যায় তাহাকে কাজে লাগাইয়া ক্যালরিমিতির সাহায্যে জুল J-র মান বাহির করেন। ঢাকনাযুক্ত একটি ক্যালরিমিটারের (C) মধ্যে জানা আপেক্ষিক তাপসম্পন্ন কোন তেল লওয়া হয় (চিত্র 3.1)। একটি উচ্চরোধসম্পন্ন কুণ্ডলী (H) তেলের মধ্যে নিমজ্জিত থাকে। ব্যাটারী (B)-র সাহায্যে কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ চালাইলে কুণ্ডলী তথা তেলটির তাপমাত্রা বাড়িতে থাকে। একটি থার্মোমিটার (T)-এর সাহায্যে এই বৃদ্ধি মাপা যায়। কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা অ্যাম্মিটারের (A) সাহায্যে মাপা হয়। কুণ্ডলীর প্রান্তদ্বয়ের বিভব-পার্থক্য একটি ভোল্ট-মিটার (V)-কে কুণ্ডলীর সমান্তরালে যুক্ত করিয়া বাহির করা হয়। আলোড়কের (S) সাহায্যে তেলের সর্বত্র তাপমাত্রার সমতা রক্ষা করা হয়। তড়িৎপ্রবাহের সময় (t) এমন লওয়া হয় যাহাতে 3 হইতে 4°C-এর বেশী তাপমাত্রার বৃদ্ধি না ঘটে। ইহার পর চাবি (K) খুলিয়া প্রবাহ বন্ধ করা হয়।



চিত্র 3.1

মনে করা যাক, W = ক্যালরিমিটারের জলসম

MS = তেলের তাপগ্রাহিতা

θ = তেলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি

V = ভোল্টমিটারের পাঠ

I = অ্যাম্মিটারের পাঠ

t = প্রবাহকাল

∴ ব্যয়িত তড়িৎ-শক্তি $= V.I.t$ জুল এবং ইহাতে উৎপন্ন তাপ $= \frac{V.I.t}{J}$ ক্যালরি

ক্যালরিমিটার ও তেল কর্তৃক গৃহীত তাপ $= (W+MS)\,\theta$ ক্যালরি

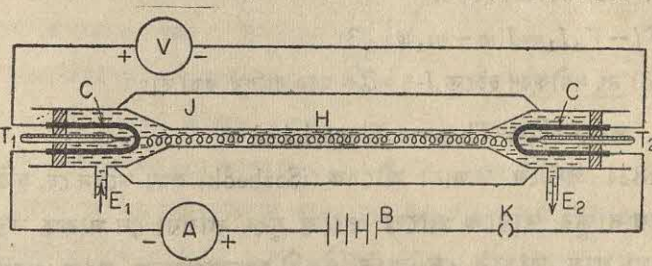
∴ অন্যভাবে তাপের ব্যয় না হইলে, $\frac{V.I.t}{J} = (W+MS)\theta$

$$\therefore\ J = \frac{V.I.t}{(W+MS)\theta}$$ জুল/ক্যালরি।

এই পরীক্ষায় বিকিরণজনিত কিছু তাপক্ষয় থাকিয়া যায়। ইহার যথাযথ সংশোধন দরকার। উপরন্তু, J-র সঠিক মান পাওয়ার জন্য পরিবহন ও পরিচলন পদ্ধতিতে তাপক্ষয় রোধ করাও প্রয়োজন।

ক্যালেণ্ডার ও বার্ণস-পদ্ধতি (Callendar and Barnes's method) :

বিজ্ঞানী ক্যালেণ্ডার ও বার্ণস অবিরত-প্রবাহ ক্যালরিমিটারের সাহায্যে J-র সঠিক মান বাহির করেন। এই পদ্ধতিতে একটি মোটা কাচের নলের মধ্যে একটি রোধকুণ্ডলী (H) ব্যাটারী (B)-সাহায্যে উত্তপ্ত করা হয় (চিত্র 3.2)। নলের মধ্যে E_1 পথে জল প্রবেশ এবং E_2 পথে নিষ্ক্রমণ করান



চিত্র 3.2

হয়। CC দুইটি তামার পাতের সাহায্যে ব্যাটারী, অ্যাম্মিটার (A) ও ভোল্টমিটার (V) যুক্ত করা হয় এবং জলের প্রবেশ ও নিষ্ক্রমণপথে T_1 ও T_2 দুইটি থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের তাপমাত্রা মাপা হয়। বিকিরণজনিত তাপক্ষয় বন্ধ করিবার উদ্দেশ্যে কাচনলকে একটি বায়ুশূন্য আবরণ (J) দ্বারা আবদ্ধ করা হয়। জলের প্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করিলে কিছুক্ষণ মধ্যেই দুই থার্মোমিটারের পাঠ নিজ নিজ নির্দিষ্ট মানে স্থির হয়। এই অবস্থায়, মনে কর, প্রতি সেকেণ্ডে প্রবহমান জলের পরিমাণ $=m$ গ্রাম

জলের স্থির তাপমাত্রা বৃদ্ধি $=\theta$

অ্যাম্মিটারের পাঠ $=I$

ভোল্টমিটারের পাঠ $=V$

সুতরাং প্রতি সেকেণ্ডে তড়িৎ-শক্তির ব্যয় $=V.I.$ জুল।

$\therefore$ উৎপন্ন তাপশক্তি $=\dfrac{V.I}{J}$ ক্যালরী।

প্রতিসেকেণ্ডে জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $=m\theta$ ক্যালরি, (আপেক্ষিক তাপ $=1$)

$\therefore$ $\dfrac{VI}{J}=m\theta+h\cdots(1)$, এখানে $h=$ বিকিরণের জন্য তাপক্ষয়।

h-এর অপনয়নের জন্য ভিন্ন প্রবাহমাত্রা (I_1) ও ভোল্টমিটার পাঠ (V_1) এমনভাবে লওয়া হইল যাহাতে দুই থার্মোমিটারের পাঠ-পার্থক্য একই থাকে। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, নলের মধ্য দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে প্রবহমান জলের পরিমাণ m_1 হইলে,

$\frac{V_1 I_1}{J}=m_1\theta+h\cdots(2)$[$h$-এর মান θ-র উপর নির্ভর করে বলিয়া এইক্ষেত্রেও তাপক্ষয় h ধরা হইয়াছে]

$\therefore$ (1) এবং (2) হইতে,

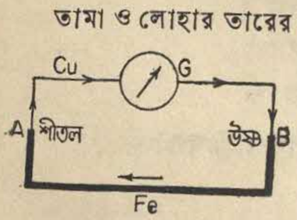
$$VI-V_1I_1=J(m-m_1)\theta \cdots(3)$$

(3) নং সমীকরণ হইতে J-র সঠিক মান বাহির করা যায়।

3.5. তাপ-তড়িৎ (Thermo-Electricity) :

1821 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী সীবেক (Seebeck) লক্ষ্য করেন যে, **দুইটি বিভিন্ন ধাতুর তারকে প্রান্তে প্রান্তে যুক্ত করিয়া যে সংহত বর্তনী পাওয়া যায়, তাহার যে-কোন একটি সংযোগস্থলে তাপ প্রয়োগ করিলে বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ চলে।** সীবেকের নামানুসারে এই ক্রিয়াকে **সীবেক ক্রিয়া** (Seebeck effect) বলে। তড়িৎ-কোষের সাহায্য ছাড়াই তাপের প্রয়োগে উদ্ভূত এই তড়িচ্চালক বলকে **তাপীয় তড়িচ্চালক বল** (thermo e. m. f.) এবং এই ঘটনাকে **তাপ-তড়িৎ** বলে। তাপীয় তড়িচ্চালক বলের কারণে প্রবাহিত তড়িৎকে **তাপ-তড়িৎপ্রবাহ** (thermo-electric current) বলা হয়। যে দুইটি ভিন্ন ধাতুর তারের প্রান্তীয় সংযুক্তির সাহায্যে তাপ-তড়িৎ সৃষ্টি করা হয় তাহাদের একত্রে **তাপ-যুগ্ম** (thermo-couple) বলে।

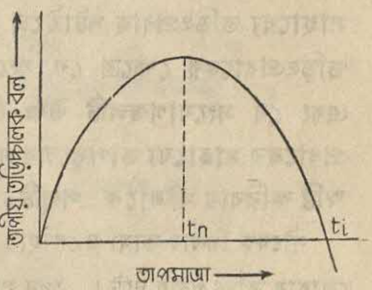
তামা ও লোহার তারের একটি যুগ্ম গঠন করিয়া যে-কোন একটি সংযোগ-স্থলে, ধর, B-তে তাপ প্রদান করিলে বর্তনীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিতে দেখা যাইবে। বর্তনীর যে কোন স্থানে একটি সুবেদী গ্যালভ্যানোমিটার (B) সংযুক্ত করিয়া এই তড়িৎপ্রবাহ লক্ষ্য করা যায় (চিত্র 3.3)।



চিত্র 3.3

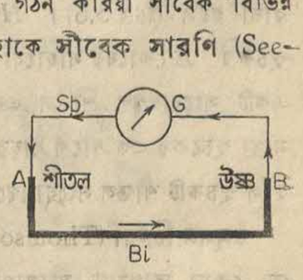
গ্যালভ্যানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, তড়িৎ-প্রবাহ B বিন্দুতে তামার তার হইতে লোহার তারে এবং A-বিন্দুতে লোহার তার হইতে তামার তারের দিকে ঘটিতেছে। A ও B-বিন্দুর

তাপমাত্রার পার্থক্য বৃদ্ধি করিলে কাঁটার বিক্ষেপ বৃদ্ধি পাইবে অর্থাৎ তড়িৎ-প্রবাহ বৃদ্ধি পাইবে। ইহা হইতে বুঝা যায়, উদ্ভূত তড়িচ্চালক বল সংযোগ-স্থান দুইটির তাপমাত্রার পার্থক্যের উপর নির্ভর করে। তামা-লোহা তাপ-যুগ্মের ক্ষেত্রে A-কে $0°C$-এ স্থির রাখিলে দেখা যায় যে, B বিন্দুর তাপমাত্রা যখন $270°C$, তখন প্রবাহমাত্রা সর্বাধিক। এই তাপমাত্রাকে **নিরপেক্ষ তাপমাত্রা** (neutral temperature) বলে এবং ইহার মান বিভিন্ন তাপযুগ্মের ক্ষেত্রে বিভিন্ন। B-বিন্দুর তাপমাত্রা নিরপেক্ষ তাপমাত্রা অতিক্রম করিলে প্রবাহমাত্রা কমিতে থাকে এবং একসময় শূন্য হয়। যে তাপমাত্রায় তড়িচ্চালক বল শূন্য হয়, তাহাকে তাপযুগ্মের **উৎক্রম তাপমাত্রা** (temperature of inversion) বলে। উৎক্রম তাপমাত্রার উপরে তড়িৎপ্রবাহ বিপরীতমুখে ঘটে। সংযোগবিন্দুদ্বয়ের তাপমাত্রার পার্থক্যের সহিত উদ্ভূত তাপীয় তড়িচ্চালক বলের লেখচিত্র অংকন করিলে লেখটি অধিবৃত্তাকার (parabolic) হয় (চিত্র 3.4)। লেখচিত্রে tn নিরপেক্ষ তাপমাত্রা ও ti উৎক্রম তাপমাত্রা নির্দেশ করিতেছে।



চিত্র 3.4

একটি অ্যান্টিমনি (Sb) ও বিসমাথ (Bi) যুগ্ম গঠন করিয়া তাপ-তড়িতের পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে অ্যান্টিমনি হইতে বিসমাথে শীতল সংযোগবিন্দু দিয়া এবং বিসমাথ হইতে অ্যান্টিমনিতে উষ্ণ সংযোগবিন্দু দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটিতেছে। এইভাবে বিভিন্ন প্রকার তাপযুগ্ম গঠন করিয়া সীবেক বিভিন্ন ধাতুকে একটি তালিকায় সাজাইয়া দেন। ইহাকে **সীবেক সারণি** (Seebeck series) বলে। তালিকাটি এইরূপ : অ্যান্টিমনি, লোহা, তামা, পারদ, প্ল্যাটিনাম, নিকেল, কন্‌স্ট্যাণ্টান, বিসমাথ, ইত্যাদি। ইহাদের যে কোন দুইটি ধাতুর তার বা পাত লইয়া একটি তাপযুগ্ম গঠন করিলে শীতল সংযোগস্থলে যে ধাতুটির স্থান তালিকায় পূর্বে আছে তাহা হইতে পরে অবস্থিত অপর ধাতুটিতে তড়িৎপ্রবাহ চলে। উপরে লোহা-তামা ও অ্যান্টিমনি-বিসমাথ তাপযুগ্মগুলির আলোচনা

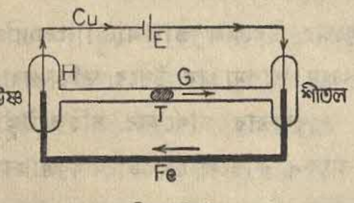


চিত্র 3.5

করা হইয়াছে। উহাদের ক্ষেত্রে সীবেক সারণি হইতে তড়িৎপ্রবাহের নিয়মটি দেখিতে পার।

পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া (Peltier effect): সীবেক ক্রিয়ার উদ্ভাবনের পর বিজ্ঞানী পেল্‌টিয়ার 1834 খ্রীষ্টাব্দে দেখান যে, **কোন তাপযুগ্মে কোষের সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহ ঘটাইলে সীবেক ক্রিয়ায় একই দিকে তাপ তড়িৎপ্রবাহের ক্ষেত্রে যে সংযোগস্থলটি শীতল ছিল তাহা উষ্ণ এবং যে সংযোগস্থলটি উষ্ণ ছিল তাহা শীতল হইবে। তড়িৎ-প্রবাহের সাহায্যে তাপযুগ্মের সংযোগ বিন্দুদ্বয়ে তাপমাত্রার পার্থক্য সৃষ্টি করিবার ঘটনাকে পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া বলে।**

সীবেক ক্রিয়ায় তামা ও লোহার তাপযুগ্মে উষ্ণ সংযোগস্থলে তামা হইতে লোহায় তড়িৎপ্রবাহ ঘটে। এখন সংযোগস্থল দুইটি একই তাপমাত্রায় রাখিয়া কোষের সাহায্যে একই দিকে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটাইলে তামা হইতে লোহায় তড়িৎপ্রবাহের সংযোগস্থলটি শীতল এবং অপর সংযোগস্থলটি উষ্ণ হইয়া উঠে। পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া সীবেক ক্রিয়ার বিপরীত বলিয়া ইহাকে সীবেক ক্রিয়ার সম্পূরক ক্রিয়া বলা যাইতে পারে।

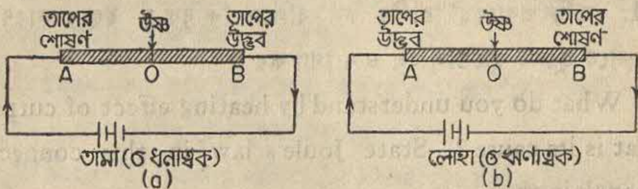


চিত্র 3.6

তাপযুগ্মে তড়িৎপ্রবাহের দ্বারা সংযোগস্থলগুলিতে যে তাপমাত্রার পার্থক্য হয় তাহা একটি সহজ পরীক্ষার মাধ্যমে দেখানো যাইতে পারে। তামা ও লোহার তারের সংযোগস্থল দুইটি H আকৃতির একটি বদ্ধ কাচনলের মধ্যে রাখা হইল (চিত্র 3.6)। H-এর সংযোগ-নল G-এর মধ্যে T একটি পারদ-সূচক। E কোষের সাহায্যে চিত্র অনুযায়ী তাপযুগ্মে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইলে একটি সংযোগস্থল শীতল এবং অপরটি উষ্ণ হইয়া উঠিবে। ইহাতে নলের মধ্যে সূচকের এক পাশে বায়ুর প্রসারণ ও অপর পাশে সংকোচন ঘটিবে। ফলে সূচকটি শীতল সংযোগস্থলের দিকে সরিয়া যাইবে।

টম্‌সন ক্রিয়া (Thomson effect): 3.4 লেখচিত্রে আমরা দেখিয়াছি যে, কোন তাপযুগ্মে সংযোগস্থল দুইটির তাপমাত্রার পার্থক্যহেতু সৃষ্ট তাপীয় তড়িচ্চালক বল তাপমাত্রার ব্যবধানের সহিত সমানুপাতিক নয়। নিরপেক্ষ তাপমাত্রায় তড়িচ্চালক বল সর্বাপেক্ষা বেশী এবং উৎক্রম তাপমাত্রার উপরে তড়িচ্চালক বল বিপরীতমুখী হয়। ইহা হইতে টমসন সিদ্ধান্ত করেন

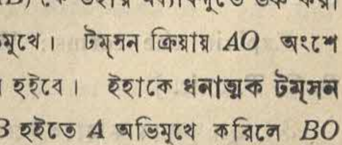
যে তাপযুগ্মে পেল্‌টিয়ার তড়িচ্চালক বল ছাড়াও অপর এক তড়িচ্চালক বল ক্রিয়াশীল। ইহাকে **টম্‌সন ক্রিয়া** বলে। এই ক্রিয়া অনুযায়ী, **কোন পরিবাহীর বিভিন্ন অংশ বিভিন্ন তাপমাত্রায় থাকিলে এবং উহার ভিতর তড়িৎপ্রবাহ চলিলে পরিবাহীর কোথাও তাপের শোষণ**



চিত্র 3.7

হয়, কোথাও বা তাপের উদ্ভব হয়। এই ক্রিয়া প্রত্যাবর্তনীয়, অর্থাৎ তড়িৎপ্রবাহ বিপরীত দিকে ঘটাইলে বিপরীত ক্রিয়া লক্ষ্য করা যাইবে। পরিবাহীর দুইটি বিন্দুর তাপমাত্রার পার্থক্যের জন্য যে তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হয়, তাহাকে টমসন তড়িচ্চালক বল বলে। তাপমাত্রার পার্থক্য একক হইলে উদ্ভূত তড়িচ্চালক বলকে **টমসন গুণাঙ্ক** (Thomson coefficient) বলা হয়। ইহাকে সাধারণ σ দ্বারা সূচিত করা হয়।

3.7 a) চিত্রে একটি তামার দণ্ড (AB)-কে উহার মধ্যবিন্দুতে উষ্ণ করা হইয়াছে। তড়িৎপ্রবাহ A হইতে B অভিমুখে। টম্‌সন ক্রিয়ায় AO অংশে তাপের শোষণ ও OB অংশে তাপের উদ্ভব হইবে। ইহাকে **ধনাত্মক টম্‌সন ক্রিয়া** (σ ধনাত্মক) বলে। তড়িৎপ্রবাহ B হইতে A অভিমুখে করিলে BO অংশ শীতল ও OA অংশ উষ্ণ হইত। 3.7 (b) চিত্রে লোহার টম্‌সন ক্রিয়া দেখান হইয়াছে। ইহা তামার বিপরীত। ইহাকে **ঋণাত্মক টম্‌সন ক্রিয়া** (σ ঋণাত্মক) বলে। সীসার ক্ষেত্রে টম্‌সন ক্রিয়া হয় না, অর্থাৎ সীসার σ-র মান শূন্য।



চিত্র 3.8

3.8 চিত্রে একটি সহজ পরীক্ষার মাধ্যমে টম্‌সন ক্রিয়া প্রদর্শিত হইয়াছে। একটি মোটা লোহার পাতকে (MN) বাঁকাইয়া W-আকৃতির করা হইয়াছে। ইহার A ও B অংশে দুইটি ছোট গর্তের মধ্যে কিছু পারদ রাখিয়া T_1 এবং T_2 দুইটি থার্মোমিটার ঢুকান আছে। C অংশে তাপপ্রয়োগ করিয়া এবং

MABN পথে তড়িৎপ্রবাহ ঘটাইয়া থার্মোমিটার দুইটি লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে T_1-এর পাঠ বেশী এবং T_2-এর পাঠ কম। তড়িৎপ্রবাহ বিপরীতমুখী করিয়া দিলে T_2-এর পাঠ T_1-এর পাঠ অপেক্ষা বেশী হইবে।

প্রশ্নাবলী

1. তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফল বলিতে কি বুঝ? ইহার কারণ কি? এই সম্পর্কে জুলের সূত্রগুলি বল ও ব্যাখ্যা কর।

[What do you understand by heating effect of current? What is its cause? State Joule's law; in this connection and explain them.]

2. তড়িৎ-বর্তনীতে শক্তি ও ক্ষমতা বলিতে কি বোঝায়? তড়িৎ-বর্তনীতে ব্যয়িত তড়িৎ-শক্তি ও তজ্জনিত উদ্ভূত তাপ-শক্তির পরিমাপ কিভাবে করিবে?

ওয়াট, কিলো-ওয়াট, ওয়াট-ঘণ্টা, বি. ও. টি. একক ব্যাখ্যা কর।

[What are meant by energy and power is an electrical circuit? How do you find the expressions for consumed electrical energy and evolved heat energy in an electrical circuit?

Explain the terms: Watt, kilo-watt, Watt-hour and B. O. T. unit.]

3. জুল-তুল্যাঙ্ক কাহাকে বলে? বৈদ্যুতিক উপায়ে জুল-তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করিবার একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[What is Joule's equivalent? Describe an electrical method of determining the value of J.]

4. তাপ-তড়িৎ কি? সীবেক ক্রিয়া কাহাকে বলে? একটি পরীক্ষার সাহায্যে সীবেক ক্রিয়া প্রদর্শন কর।

[What is thermo-electricity? What is called Seebeck's effect? How can Seebeck's effect be demonstrated experimentally?]

5. ব্যাখ্যা কর: তাপ-যুগ্ম, তাপীয় তড়িচ্চালক-বল, নিরপেক্ষ তাপমাত্রা, উৎক্রম তাপমাত্রা ও সীবেক সারণি।

[Explain : thermo-couple, thermo e. m. f., neutral temperature, temperature of inversion and Seebeck series.]

6. পেল্টিয়ার ক্রিয়া কাহাকে বলে ? একটি পরীক্ষার সাহায্যে কিভাবে পেল্টিয়ার ক্রিয়া প্রদর্শন করা যায় ?

[What is Peltier effect ? How Peltier effect can be demonstrated experimentally ?]

7. টম্সন ক্রিয়া কাহাকে বলে ? টম্সন ক্রিয়া প্রদর্শনের একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। কোন্ ধাতুতে টম্সন ক্রিয়া হয় না ?

[What is Thomson effect ? Describe an experiment to demonstrate Thomson effect. In what metal Thomson effect is absent ?]

8. 10 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহমাত্রা 20 ওহ্‌ম রোধসম্পন্ন কোন রোধকের মধ্য দিয়া 5 মিনিট ধরিয়া চলিলে (a) প্রবাহিত মোট তড়িতাধান, (b) জুল এককে ব্যয়িত শক্তি এবং (c) ক্যালরি এককে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। [H. S. '66]

[A current of 10 amperes passes through a resistance of 20 ohms for 5 minutes. Calculate (a) the quantity of charge that passes, (b) the energy dissipated in Joules and (c) the heat produced in calories.]

[Ans. (a) 3000 coulomb, (b) 6×10^5 Joules, (c) $1{\cdot}44\times10^5$ cals.]

9. 2 ওহ্‌ম এবং 4 ওহ্‌ম রোধসম্পন্ন দুইটি তারকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিয়া উহাদের প্রান্তে 6 ভোল্টের বিভব-পার্থক্য প্রয়োগ করা হইল। তার দুইটিতে উদ্ভূত তাপের হার তুলনা কর।

তার দুইটি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত থাকিলে উদ্ভূত তাপের হারের অনুপাত কত হইত ? [H. S. 1964]

[Two wires of resistances 2Ω and 4Ω respectively are connected in series and a potential difference of 6 volts is applied between the ends. Compare the rates of heating in the two wires.

What would be the ratio of the rates of heating in the two wires if they were connected in parallel ?]

[Ans. 1 : 2 and 2 : 1]

10. একটি আর্কবাতিতে 60 ভোল্ট এবং 15 অ্যাম্পিয়ার প্রয়োজন। প্রবাহের সরবরাহ 220 ভোল্টে পাওয়া গেলে বর্তনীতে যে রোধ যুক্ত করা দরকার তাহার মান নির্ণয় কর। প্রতি বি. ও. টি. একক 20 পয়সা হারে বাতিটিকে 10 ঘণ্টা ব্যবহার করিতে কত খরচ পড়িবে? [C. U. '69]

[An arc lamp requires 60 volts and 15 amperes. The current is supplied at 220 volts. Find the value of the resistance to be included in the circuit. What is the cost of running the lamp for 10 hours at 20 P. per B. O. T. unit ?] [Ans. 10·67Ω, Rs. 1·80.]

11. একটি 200 ওয়াট ও আর একটি 100 ওয়াট বাতির জন্য 200 ভোল্ট প্রয়োজন। বাতি দুইটি শ্রেণী-সমবায়ে 200 ভোল্ট সরবরাহ লাইনে যুক্ত করিলে প্রতিটি বাতি কত তড়িৎ-ক্ষমতা ব্যয় করিবে? [J. Entrance '76]

[Two lamps both to be operated at 200 volts, one consuming 200 watts and the other consuming 100 watts are taken. The two lamps connected in series are put across a 200 volts mains supply. Calculate the power consumed by each.] [Ans. 22·2 watt ; 44·4 watt.]

চতুর্থ অধ্যায়

তড়িৎপ্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া

(Chemical Effect of Current)

4.1. তড়িৎ-বিশ্লেষ্য (Electrolyte) :

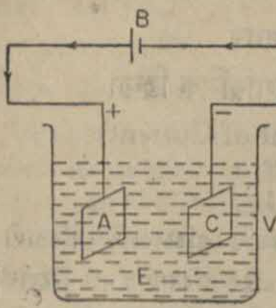
তড়িৎ-পরিবহনের পদ্ধতির উপর ভিত্তি করিয়া তড়িৎ-পরিবাহী পদার্থগুলিকে দুই ভাগে ভাগ করা যায়। এক শ্রেণীর পরিবাহীর নাম **ইলেকট্রনিক পরিবাহী** (electronic conductor)। ইলেকট্রনিক পরিবাহী কোন তড়িৎ-বর্তনীতে যুক্ত থাকিলে ইলেকট্রনের স্রোত ঋণাত্মক দ্বার হইতে প্রবাহিত হইয়া পরিবাহীর মধ্য দিয়া ধনাত্মক দ্বারে চলিয়া যায়। ইলেকট্রন প্রবাহের অভিমুখের বিপরীতে বর্তনীর মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয়, ইহা তোমরা জান। ধাতুসকল, সেলেনিয়াম, গ্রাফাইট, ইত্যাদি এই শ্রেণীর পরিবাহী। ইহারা ধাতব পরিবাহী (metallic conductor) নামেও পরিচিত।

দ্বিতীয় শ্রেণীর পরিবাহীগুলিকে বলা হয় **তড়িৎ-বিশ্লেষ্য** (electrolyte)। ইহারা সকলেই যৌগিক পদার্থ। **ইহারা গলিত বা দ্রবীভূত অবস্থায় তড়িৎ-পরিবহনে সক্ষম এবং তড়িৎপ্রবাহের ফলে ইহারা বিশ্লিষ্ট হইয়া যায়।** তড়িৎপ্রবাহের দ্বারা সংঘটিত এই রাসায়নিক পরিবর্তনকে **তড়িৎ-বিশ্লেষণ** (electrolysis) বলে। সকল এ্যাসিড (H_2SO_4, HNO_3, ইত্যাদি), ক্ষার ($NaOH$, KOH, ইত্যাদি) ও লবণ (KCl, $NaCl$, KNO_3, $NaNO_3$, $CuSO_4$, $AgNO_3$, ইত্যাদি) এই শ্রেণীর পরিবাহীর অন্তর্গত। যে সকল পদার্থ গলিত বা দ্রবীভূত অবস্থায় তড়িৎ-বিশ্লেষ্য হিসাবে কাজ করে না, তাহাদের **তড়িৎ-অবিশ্লেষ্য** (non-electrolyte) বলে। উদাহরণ হিসাবে চিনি, ইউরিয়া ইত্যাদির নাম করা যাইতে পারে।

4.2. ভোল্টামিটার (Voltameter) :

যে পাত্রে কোন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের তড়িৎ-বিশ্লেষণ করা হয় তাহাকে ভোল্টামিটার বা তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ বলে। 4.1 চিত্রে V একটি ভোল্টামিটার দেখানো হইয়াছে। তড়িৎ-বিশ্লেষণ করিতে হইলে গলিত বা দ্রবীভূত তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্যে দুইটি ইলেকট্রনিক বা ধাতব পরিবাহীর দণ্ড বা পাত আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় রাখিতে হইবে। ইহাদের একটি তড়িৎ-কোষের (B)

ধনাত্মক প্রান্তের সহিত এবং অপরটি ঋণাত্মক প্রান্তের সহিত যুক্ত। এই দুইটি দণ্ড বা পাতকে **তড়িৎ-দ্বার** (electrode) বলে। তড়িৎ-কোষের ঋণাত্মক প্রান্তের সহিত যুক্ত তড়িৎ-দ্বারকে **ক্যাথোড** (Cathode—C) এবং ধনাত্মক প্রান্তের সহিত যুক্ত তড়িৎ-দ্বারকে **এ্যানোড** (Anode—A) বলে। তড়িৎপ্রবাহ এ্যানোডের মধ্য দিয়া তড়িৎ-বিশ্লেষ্যে প্রবেশ করে ও ক্যাথোডের মধ্য দিয়া ভোল্টামিটার হইতে বাহির হইয়া যায়।



চিত্র 4.1

সাধারণ ভোল্টীয় কোষের সহিত তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ বা ভোল্টা-মিটারের পার্থক্য হইল :

(i) সাধারণ কোষে তড়িৎ-দ্বার দুইটি বিভিন্ন উপাদানের, কিন্তু ভোল্টা-মিটারে ইহারা একই উপাদানের তৈয়ারী।

(ii) সাধারণ কোষে রাসায়নিক-শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয়, কিন্তু ভোল্টামিটারে বাহিরের কোন উৎস হইতে তড়িৎ-শক্তি সরবরাহ করিয়া রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটানো হয়।

4.3. তড়িৎ-বিয়োজনবাদ (Theory of electrolytic dissociation) **:**

তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহ চলাচলের পদ্ধতি সুইডিস বিজ্ঞানী **আরহেনিয়াস** (Arrhenius) তড়িৎ-বিয়োজনবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যা করেন। তাঁহার মতবাদ অনুসারে, যখন কোন তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ জলে দ্রবীভূত করা হয় তখন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের অণুগুলি দুইটি বা দুই-এর অধিক তড়িৎযুক্ত কণায় ভাঙ্গিয়া যায়। তড়িৎযুক্ত কণাগুলি **আয়ন** (ion) নামে পরিচিত। ধনাত্মক বা পরা-তড়িৎযুক্ত আয়নগুলিকে **ক্যাটায়ন** (cation) ও ঋণাত্মক বা অপরা-তড়িৎযুক্ত আয়নগুলিকে **এ্যানায়ন** (anion) বলে। **তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের এইরূপ ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নে ভাঙ্গিয়া যাওয়াকে তড়িৎ-বিয়োজন বলে।** বিয়োজনের ফলে উৎপন্ন ক্যাটায়নগুলির মোট পরা-তড়িতের পরিমাণ উৎপন্ন অ্যানায়নগুলির মোট অপরা-তড়িতের সমান থাকে। দ্রবণ বা গলিত তড়িৎ-বিশ্লেষ্য এই কারণেই তড়িৎ-নিরপেক্ষ হয়।

তড়িৎ-বিয়োজনের প্রক্রিয়াটি **উভমুখী** (reversible)। নীচে তড়িৎ-বিয়োজনের কতকগুলি উদাহরণ দেওয়া হইল।

(i) $NaCl$ জলে দ্রবীভূত করিলে Na^+ ও Cl^- আয়নে বিয়োজিত হয়।

$$NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^-$$

(ii) H_2SO_4 জলীয় দ্রবণে H^+ এবং SO_4^{--} আয়নে বিয়োজিত হয়।

$$H_2SO_4 \rightleftharpoons 2H^+ + SO_4^{--}$$

(iii) $ZnCl_2$ জলে দ্রবীভূত অবস্থায় Zn^{++} ও Cl^- আয়নে বিয়োজিত হয়।

$$ZnCl_2 \rightleftharpoons Zn^{++} + 2Cl^-$$

ইহা ছাড়া আরও উদাহরণ হইল :

$$NaOH \rightleftharpoons Na^+ + OH^-, \; KOH \rightleftharpoons K^+ + OH^-$$

$$AgNO_3 \rightleftharpoons Ag^+ + NO_3^-, \; (NH_4)_2SO_4 \rightleftharpoons 2NH_4^+ + SO_4^{--}$$

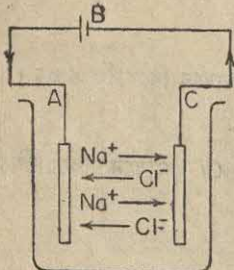
লক্ষ্য কর, প্রতিটি ক্ষেত্রেই বিয়োজনের পর মোট পরা-তড়িতের পরিমাণ মোট অপরা-তড়িতের পরিমাণের সমান। সাধারণত ধাতুগুলি, হাইড্রোজেন ও এ্যামোনিয়াম মূলক ক্যাটায়ন গঠন করে এবং অধাতব মৌলের পরমাণুজোট অ্যানায়ন গঠন করে।

তড়িৎ-বিয়োজন সকল ক্ষেত্রে সম্পূর্ণ হয় না। অর্থাৎ, দ্রবণে যতগুলি-তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের অণু রহিয়াছে, সবগুলিই বিয়োজিত বা **আয়নিত** (ionised) হয় না। যে সকল পদার্থ দ্রবণে প্রায় সম্পূর্ণ আয়নিত হইয়া যায় তাহাদের **তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য** (strong electrolyte) ও যাহারা অল্প পরিমাণে আয়নিত হয় তাহাদের **মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য** (weak electrolyte) বলে। লবণগুলি এবং HCl, H_2SO_4 ইত্যাদি এ্যাসিড ও KOH, $NaOH$ ইত্যাদি ক্ষার তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য। এ্যাসিটিক এ্যাসিড, অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড, কার্বলিক এ্যাসিড, ইত্যাদি মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য। সাধারণভাবে **দ্রবণের মাত্রা বৃদ্ধি পাইলে বিয়োজন কমিয়া যায় এবং মাত্রা হ্রাস পাইলে বিয়োজন বাড়িয়া যায়।**

4.4. তড়িৎ-বিশ্লেষণ (Electrolysis) :

তড়িৎ-বিয়োজনবাদের সাহায্যে তড়িৎ-বিশ্লেষণ ও তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা ব্যাখ্যা করা যায়। ধরা যাক, গলিত সোডিয়াম ক্লোরাইডের মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হইতেছে (চিত্র 4.2)। তড়িৎ-দ্বার হিসাবে প্ল্যাটিনাম

ক্যাথোড (C) ও গ্রাফাইড এ্যানোড (A) ব্যবহৃত হইয়াছে। দেখা যাইবে, তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে ক্যাথোডে সোডিয়াম ধাতু ও এ্যানোডে ক্লোরিন গ্যাস পাওয়া গেল। ইহার ব্যাখ্যা নিম্নরূপ :



চিত্র 4.2

গলিত সোডিয়াম ক্লোরাইড Na^+ এবং Cl^- আয়নে বিয়োজিত হয়।

$$NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^-$$

Na^+ আয়ন ক্যাথোডের দিকে আকৃষ্ট হইবে এবং ক্যাথোডে উপস্থিত হইয়া ক্যাথোড হইতে একটি ইলেকট্রন গ্রহণ করিয়া তড়িৎ-নিরপেক্ষ সোডিয়াম পরমাণুতে পরিণত হইবে। $Na^+ + e \rightarrow Na.$

অন্যদিকে Cl^- আয়ন এ্যানোড দ্বারা আকৃষ্ট হইয়া এ্যানোডে উপস্থিত হইবে এবং একটি ইলেকট্রন বর্জন করিয়া তড়িৎ-নিরপেক্ষ ক্লোরিন পরমাণুতে পরিণত হইবে। ক্লোরিন পরমাণু একাকী থাকিতে পারে না বলিয়া দুইটি পরমাণু মিলিয়া একটি অণু গঠন করিবে এবং গ্যাস হিসাবে এ্যানোড হইতে নির্গত হইবে। $Cl^- \rightarrow Cl + e,\ Cl + Cl = Cl_2$

$NaCl$-এর জলীয় দ্রবণের ক্ষেত্রে ক্যাথোডে সোডিয়াম ধাতুর স্থলে হাইড্রোজেন গ্যাস এবং এ্যানোডে ক্লোরিন গ্যাস নির্গত হয়। জল (H_2O) একটি মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য এবং ইহা হাইড্রোজেন ও হাইড্রক্সিল আয়নে বিয়োজিত হয়।

$NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^-$	$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$
এ্যানোডে : $Cl \rightarrow Cl^- + e$	ক্যাথোডে : $H^+ + e \rightarrow H$
$Cl + Cl = Cl_2$	$H + H = H_2$

এই স্থলে Na^+ এবং H^+ আয়ন দুইটির মধ্যে H^+-এর ইলেকট্রন গ্রহণের প্রবণতা বেশী।

তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে কি কি পদার্থ তৈয়ারী হইবে তাহা কিছু পরিমাণে তড়িৎ-দ্বারের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। বিভিন্ন তড়িৎ-দ্বার ব্যবহার করিয়া একই পদার্থের তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে বিভিন্ন উৎপন্ন পদার্থ পাওয়া সম্ভব। $CuSO_4$-এর জলীয় দ্রবণকে দুইটি প্ল্যাটিনাম তড়িৎ-দ্বার ব্যবহার করিয়া তড়িৎ-বিশ্লেষিত করিলে ক্যাথোডে কপার ধাতু ও অ্যানোডে অক্সিজেন গ্যাস পাওয়া যায়।

$CuSO_4 \rightleftharpoons Cu^{++} + SO_4^{--}$ $\qquad$ $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

এ্যানোডে : $OH^- \rightarrow OH + e$ $\qquad$ ক্যাথোডে : $Cu^{++} + 2e \rightarrow Cu$

$4OH \rightarrow 2H_2O + O_2$

যদি প্ল্যাটিনাম তড়িৎ-দ্বারের বদলে দুইটি কপার তড়িৎ-দ্বার ব্যবহার করা হয়, তাহা হইলে পূর্বের ন্যায় ক্যাথোডে কপার ধাতু মুক্ত হইবে। এ্যানোড তড়িৎ-দ্বার হইতে দুইটি কপার পরমাণু ইলেকট্রন ত্যাগ করিয়া দ্রবণে Cu^{++} আয়ন হইয়া চলিয়া আসিবে এবং দ্রবণে কপার সালফেটের পরিমাণ স্থির রাখিবে। অর্থাৎ, তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে এ্যানোড হইতে কপার দ্রবণে চলিয়া আসিতে থাকিবে ও ক্যাথোডে সমপরিমাণ কপার সঞ্চিত হইবে। এই পদ্ধতিতে কপার, জিঙ্ক, প্রভৃতি ধাতুর **বিশোধন** করা হয়। **অশুদ্ধ ধাতুর এ্যানোড ও বিশুদ্ধ ধাতুর ক্যাথোড এবং ধাতুর সালফেট লবণের দ্রবণ ব্যবহার করিয়া তড়িৎ-বিশ্লেষণ করিলে বিশুদ্ধ ধাতু অ্যানোড হইতে দ্রবণে দ্রবীভূত হইয়া ক্যাথোডে আসিয়া সঞ্চিত হইবে।**

4.5. তড়িৎ-বিশ্লেষণ-সম্পর্কিত ফারাডের সূত্রাবলী (Faraday's laws of electrolysis) :

1833 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী **মাইকেল ফ্যারাডে** (Michael Faraday) পরীক্ষামূলক ভাবে তড়িৎ-বিশ্লেষণের নিম্নোক্ত দুইটি সূত্র আবিষ্কার করেন।

প্রথম সূত্র : কোন তড়িৎ-বিশ্লেষ্য হইতে মুক্ত আয়নের ভর উহার মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িতাধানের সমানুপাতিক।

দ্বিতীয় সূত্র : সমপরিমাণ তড়িতাধান বিভিন্ন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইলে বিভিন্ন তড়িৎ-দ্বারে মুক্ত আয়নগুলির ভর উহাদের নিজ নিজ রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সমানুপাতিক।

4.6. সূত্রগুলির ব্যাখ্যা ও পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Explanation and experimental verification of the laws) :

প্রথম সূত্রের ব্যাখ্যা ও প্রমাণ : ধরা যাক, কোন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ভিতর দিয়া I অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ t সেকেণ্ড ধরিয়া প্রবাহিত হইল। ইহাতে তড়িৎ-দ্বারে যেন W গ্রাম আয়ন সঞ্চিত হইল। t সময়ে প্রবাহিত মোট তড়িতাধান Q হইলে, $Q = I \times t$ কুলম্ব।

$\therefore$ ফ্যারাডের প্রথম সূত্রানুযায়ী, $W \propto Q$ বা $W \propto I.t$

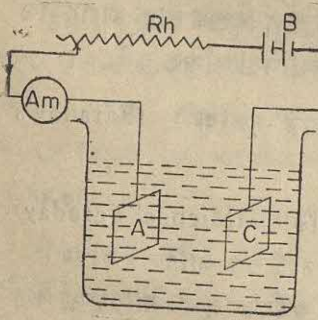
$\therefore \quad W = Z.I.t.$

ঐ নির্দিষ্ট আয়নের ক্ষেত্রে Z একটি ধ্রুবক, ইহাকে ঐ আয়নের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (electro-chemical equivalent) বলে। এখন, $I=1$, $t=1$ বা $Q=1$ হইলে $W=Z$.

স্মৃতরাং, কোন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়া 1 কুলম্ব তড়িতাধান প্রবাহিত হইলে তড়িৎ-দ্বারে যত গ্রাম আয়নমুক্ত হয় সেই সংখ্যাকে উক্ত মৌলের (আয়নের) তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বলে।

উদাহরণস্বরূপ, তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ·000329 গ্র্যাম/কুলম্ব, ইহার অর্থ, তামার কোন লবণের (যেমন, $CuSO_4$) দ্রবণে 1 কুলম্ব তড়িতাধান প্রবাহিত করিলে ক্যাথোডে ·000329 গ্র্যাম তামা সঞ্চিত হইবে।

একটি তামার ভোল্টামিটার লইয়া 4.3 চিত্রানুযায়ী ব্যাটারী B, পরিবর্তনীয় রোধ Rh, অ্যাম্মিটার Am-এর সাহায্যে একটি বর্তনী সম্পূর্ণ কর।



চিত্র 4.3

তড়িৎপ্রবাহ পাঠাইবার পূর্বে তামার ক্যাথোডটি বাহিরে আনিয়া ভাল করিয়া পরিষ্কার কর এবং শুকাইয়া ওজন কর। ক্যাথোডটি এইবার যথাস্থানে রাখিয়া প্রবাহ চালনা কর। নির্দিষ্ট সময় অন্তে প্রবাহ বন্ধ কর এবং ক্যাথোডটি ভাল করিয়া ধুইয়া শুকাইয়া আবার ওজন কর। দুই ওজনের পার্থক্য হইতে ক্যাথোডে সঞ্চিত আয়নের ভর পাওয়া যাইবে। এইভাবে কয়েকবার প্রবাহমাত্রা পরিবর্তন করিয়া এবং বিভিন্ন সময় ধরিয়া পরীক্ষাটি কর। প্রত্যেকবারই জমা আয়নের ভর বাহির কর। যদি প্রবাহমাত্রাগুলি $I_1, I_2, I_3 \cdots$ ইত্যাদি এবং প্রবাহকালগুলি $t_1, t_2, t_3 \cdots$ ইত্যাদি এবং জমা পদার্থের ওজন $W_1, W_2, W_3 \cdots$ ইত্যাদি হয়, তবে দেখা যাইবে

$W_1 : W_2 : W_3 \cdots = I_1t_1 : I_2t_2 : I_3t_3 \cdots$ ইত্যাদি হইতেছে।

অর্থাৎ $W \propto Q$ [চার্জ $Q = I \times t$]

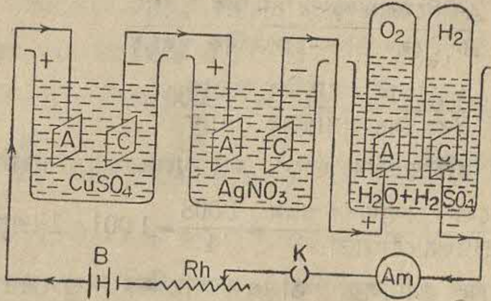
∴ প্রথম সূত্রটি প্রমাণিত হইল।

দ্বিতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা ও প্রমাণ : ধরা যাক, একই পরিমাণ তড়িতাধান Q বিভিন্ন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যে যেমন তামা, রূপা ও অ্যাসিড-মিশ্রিত

জলে প্রবাহিত হইল। ক্যাথোডে সঞ্চিত আয়নগুলির ভর যথাক্রমে W_{cu}, W_{Ag} ও W_H হইলে এবং ঐ পদার্থগুলির রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে E_{cu}, E_{Ag} ও E_H হইলে, দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী,

$$\frac{W_{cu}}{E_{cu}}=\frac{W_{cu}}{E_{Ag}}=\frac{W_H}{E_H} \text{ হইবে।}$$

4.4 চিত্রানুযায়ী এইরূপ তিনটি তামা, রূপা ও জল ভোল্টামিটারকে শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত করিয়া উহাদের ভিতর ব্যাটারী B, পরিবর্তনীয় রোধ Rh, অ্যাম্মিটার Am সাহায্যে একটি নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হইল। তামা ও রূপা ভোল্টামিটারের ক্যাথোডগুলির প্রবাহের পূর্বে ও



চিত্র 4.4

প্রবাহের পরে ওজন লইয়া সঞ্চিত মৌলের ওজনগুলি W_{cu} এবং W_{Ag} বাহির করা হইল। জল ভোল্টামিটারে তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে ক্যাথোডে হাইড্রোজেন গ্যাস এবং এ্যানোডে অক্সিজেন গ্যাস উৎপন্ন হইবে। সুতরাং গ্যাসগুলি উপুড় করা টেস্ট-টিউবে জলের অপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হইল। সঞ্চিত হাইড্রোজেন গ্যাসের প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় ওজন বাহির করা হইল এবং মনে কর এই ওজন W_H. যেহেতু, তামা, রূপা ও হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে 31·75, 107·88 এবং 1·008, সুতরাং দেখা যাইবে,

$$\frac{W_{cu}}{31 \cdot 75}=\frac{W_{Ag}}{107 \cdot 88}=\frac{W_H}{1 \cdot 008} \text{ হইতেছে।}$$

অর্থাৎ $W \propto E$, দ্বিতীয় সূত্রটি প্রমাণিত হইল।

4.7. ফ্যারাডের সূত্র দুইটির সমন্বয় (Combination of the two laws of Faraday) :

মনে কর, একই তড়িতাধান Q দুইটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্য A ও B-র মধ্য দিয়া

প্রবাহিত। ইহাতে ক্যাথোড দুইটিতে সঞ্চিত মৌলের ভরদ্বয় W_A এবং W_B হইলে প্রথম সূত্রানুযায়ী, $W_A = Z_A\, Q$ এবং $W_B = Z_B\, Q \cdots (1)$

Z_A এবং Z_B যথাক্রমে A এবং B-র তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক। E_A এবং E_B উহাদের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক হইলে

দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী, $\frac{W_A}{W_B} = \frac{E_A}{E_B} \cdots\cdots (2)$

$\therefore$ (1) এবং (2) হইতে, $\frac{Z_A Q}{Z_B Q} = \frac{E_A}{E_B}$

বা $\frac{Z_A}{Z_B} = \frac{E_A}{E_B}$

অর্থাৎ, $\frac{A\text{-মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{B\text{-মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}$

$= \frac{A\text{-মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{B\text{-মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}$

B-মৌলটি হাইড্রোজেন হইলে, হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $= \frac{\text{হাইড্রোজেনের পারমাণবিক ওজন}}{\text{হাইড্রোজেন যোজ্যতা}} = \frac{1{\cdot}008}{1} = 1{\cdot}001 \simeq 1$ (প্রায়)।

$\therefore$ **কোন মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক=মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক×হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক=** মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক × ·00001044.

উদাহরণস্বরূপ, রূপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $E_{Ag} = 107{\cdot}83$

$\therefore$ রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $= 107{\cdot}88 \times {\cdot}00001044$

$= 0{\cdot}001118$ গ্র্যাম/কুলম্ব।

আবার, ফ্যারাডের সূত্র দুইটির সমন্বয়ে পাওয়া যায় যে, কোন মৌলের ক্ষেত্রে $\frac{E}{Z}$=ধ্রুবক। Z-এর সংজ্ঞা অনুসারে Z গ্র্যাম আয়নমুক্ত করিবার জন্য প্রয়োজনীয় তড়িতাধান 1 কুলম্ব, সুতরাং E গ্র্যাম (গ্র্যাম-তুল্যাঙ্ক পরিমাণ) আয়নমুক্ত করিবার জন্য প্রয়োজনীয় তড়িতাধান $\frac{E}{Z}$ কুলম্ব।

রূপার ক্ষেত্রে, $\frac{E_{Ag}}{Z_{Ag}} = \frac{107{\cdot}88 \text{ গ্র্যাম}}{0{\cdot}001118 \text{ গ্র্যাম/কুলম্ব}} = 96500$ কুলম্ব

তামার ক্ষেত্রে, $\frac{E_{cu}}{Z_{cu}} = \frac{31{\cdot}785 \text{ গ্র্যাম}}{{\cdot}000329 \text{ গ্র্যাম/কুলম্ব}} = 96500$ কুলম্ব।

এইভাবে প্রত্যেক মৌলের ক্ষেত্রেই

$\frac{\text{গ্র্যাম-তুল্যাঙ্ক}}{\text{তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}} = \mathbf{96500}$ **কুলম্ব।**

96500 কুলম্বকে 1 ফ্যারাড তড়িতাধান বলা হয়। সুতরাং 1 ফ্যারাড বলিতে সেই পরিমাণ তড়িতাধান বুঝায় যাহা কোন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইলে সর্বদা 1 গ্র্যাম-তুল্যাঙ্ক পরিমাণ আয়নমুক্ত হয়।

উদাহরণ : (1) কোন তামার ভোল্টামিটারে তড়িৎপ্রবাহ হইলে 10 মিনিটে ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারে 1·5 গ্র্যাম তামা জমা হয়। যদি তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক=0·000329 গ্র্যাম/কুলম্ব হয়, তাহা হইলে তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রার মান বাহির কর।

উত্তর : মনে করি, নির্ণেয় প্রবাহ=I অ্যাম্পিয়ার

ফ্যারাডের প্রথম সূত্র হইতে $W=Z.I.t$

$W=1\cdot5$ গ্র্যাম, $Z=0\cdot000329$ গ্র্যাম/কুলম্ব, $t=10\times60$ সেকেণ্ড

$$\therefore\ I=\frac{W}{Z.t}=\frac{1\cdot5}{0\cdot000329\times10\times60}=7\cdot6$$ **অ্যাম্পিয়ার।**

(2) ব্যাটারীতে দস্তার অপচয় অংশতঃ স্থানীয় ক্রিয়া এবং অংশতঃ তড়িৎ-বিশ্লেষণের কারণে হইয়া থাকে। স্থানীয় ক্রিয়ার জন্য 20% দস্তার অপচয় হয়। কোন ব্যাটারী হইতে যদি এমন তড়িৎপ্রবাহ লওয়া হয় যাহা সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ হইতে 6 গ্র্যাম রূপা ক্যাথোডে জমা করিতে পারে, তাহা হইলে ঐ ব্যাটারীতে দস্তার মোট ক্ষয়ের পরিমাণ বাহির কর। (দস্তা ও রূপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে 32·5 এবং 108)।

[J. Entrance, '73]

উত্তর : ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র হইতে, $\frac{W_{Zn}}{Z_{Zn}}=\frac{W_{Ag}}{Z_{Ag}}$

$$\therefore\ W_{Zn}=W_{Ag}\times\frac{Z_{Zn}}{Z_{Ag}}$$

$$=6\times\frac{32\cdot5}{108}=1\cdot805$$ গ্র্যাম।

সর্তানুসারে, 1·805 গ্র্যাম, মোট ক্ষয়ের 80% মাত্র।

$\therefore$ মোট ক্ষয়$=1\cdot805\times\frac{100}{80}=$**2·25 গ্র্যাম** (প্রায়)।

(3) $CuSO_4$ দ্রবণের ভিতর দিয়া 2 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ পাঠানো হইল। ক্যাথোড-প্লেটের ক্ষেত্রফল 1·5 বর্গমিটার হইলে প্রতি মিনিটে প্লেটে মুক্ত

তামার গড় বেধবৃদ্ধি নির্ণয় কর। তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক= ·0003294 এবং তামার ঘনত্ব 8·9 গ্র্যাম/সি.সি.। [C. U. '61]

উত্তর : 1 মিনিটে প্রবাহিত মোট তড়িতাধান $Q=I \times t=2 \times 60$ কুলম্ব।

ক্যাথোডে সঞ্চিত তামার পরিমাণ $W=Z.Q=\cdot0003294 \times 2 \times 60$ গ্র্যাম। সঞ্চিত তামা যদি ক্যাথোড-প্লেটের '*d*' সে. মি. বেধ বৃদ্ধি করে, তবে তামার আয়তন = ক্ষেত্রফল × বেধ = $1\cdot5 \times 100^2 \times d$ সি. সি.

তামার ঘনত্ব=8·9 গ্র্যাম/সি. সি., কাজেই উক্ত তামার ভর=$1\cdot5 \times 100^2 \times d \times 8\cdot9$ গ্র্যাম।

$\therefore \quad 1\cdot5 \times 100^2 \times d \times 8\cdot9 = \cdot0003294 \times 2 \times 60$

বা, $d = \dfrac{\cdot0003294 \times 2 \times 60}{1\cdot5 \times 100^2 \times 8\cdot9} = \mathbf{2\cdot96 \times 10^{-7}}$ সে. মি.।

4.8. তড়িৎ-বিশ্লেষণের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical applications of electrolysis) **:**

(1) **তড়িৎ লেপন বা ইলেকট্রোপ্লেটিং** (Electroplating) **:** লোহা, তামা, টিন ইত্যাদি নিকৃষ্ট ধাতুর জিনিসের উপর রূপা, সোনা, নিকেল, ক্রোমিয়াম ইত্যাদি মূল্যবান ধাতুর প্রলেপন তড়িৎ-বিশ্লেষণের সাহায্যে দেওয়া হয়। মূল্যবান ধাতুটির একটি উপযুক্ত লবণের জলীয় দ্রবণকে তড়িৎ-বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহার করা হয়। মূল্যবান ধাতুটির একটি পাতকে এ্যানোড-রূপে ও নিকৃষ্ট ধাতুর জিনিসটিকে ক্যাথোডরূপে ব্যবহার করা হয়। তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে মূল্যবান ধাতুর পাতটি ক্ষয়প্রাপ্ত হয় এবং নিকৃষ্ট ধাতুদ্রব্যটির উপর মূল্যবান ধাতুটির একটি প্রলেপ পড়ে। এই প্রলেপ সাধারণত নিকৃষ্ট ধাতুদ্বারা নির্মিত দ্রব্যগুলিকে জলবায়ুর আক্রমণ হইতে রক্ষা করে এবং উহাদের সুদৃশ্য করিয়া তোলে। লোহাকে মরিচা হইতে বাঁচাইবার জন্য সাধারণত *টিন* বা দস্তার প্রলেপন দেওয়া হয়। *টিনের* প্রলেপ দেওয়ার জন্য স্ট্যানাস ক্লোরাইড, নিকেলের জন্য নিকেল অ্যামোনিয়াম সালফেট, সোনার জন্য পটাসিয়াম অরোসায়ানাইড ইত্যাদি তড়িৎ-বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহৃত হয়।

(2) **ইলেকট্রোটাইপিং** (Electrotyping) **:** এই পদ্ধতিতে ছাপায় সাধারণ টাইপের উপর মোম লাগাইয়া মোমের একটি ছাঁচ করা হয়। পরে মোমের উপর গ্রাফাইটের গুঁড়া ছড়াইয়া উহাকে তড়িৎ-পরিবাহী করা হয়। ইহাকে তখন $CuSO_4$ দ্রবণে ক্যাথোড হিসাবে ব্যবহার করা হয় এবং

এ্যানোড হিসাবে থাকে একটি তামার পাত। তড়িৎপ্রবাহের ফলে এ্যানোড হইতে তামা মোমের ছাঁচের উপরে জমে এবং তামা খানিকটা পুরু হইলে উহাকে বাহির করিয়া আনা হয়। এই ধাতব ছাপটি সুদৃঢ় বলিয়া বহুবার ছাপার কাজে ব্যবহার করা যায়। গ্রামোফোনের রেকর্ড, মুদ্রা, মেডেল প্রভৃতির ছাঁচ তৈয়ারীর কাজেও এই পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়।

(3) **ধাতু নিষ্কাষণ ও শোধন** (Extraction and purification of metals) :

সোডিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম, পটাসিয়াম প্রভৃতি ধাতু উহাদের বিশেষ বিশেষ যৌগিক পদার্থ হইতে তড়িৎ-বিশ্লেষণের সাহায্যে নিষ্কাশিত করা হয়। কষ্টিক সোডা ইত্যাদির উৎপাদনও এই পদ্ধতিতে করা হইয়া থাকে। আকরিক হইতে ধাতুর নিষ্কাশণের পর বিশোধনও তড়িৎ-বিশ্লেষণের সাহায্যে করা যায়।

উপরি-উক্ত তিনটি বিশেষ ব্যবহার ছাড়াও তড়িৎ-বিশ্লেষক ধারক এবং সঞ্চয়ক কোষ নির্মাণ তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতির উপর নির্ভর করিয়া করা হয়।

প্রশ্নাবলী

1. তড়িৎ-বিশ্লেষণ কাহাকে বলে? ধাতব পরিবাহী ও তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্যে প্রভেদ কি? তড়িৎ-অবিশ্লেষ্য কাহাকে বলে? উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

[What is electrolysis ? What is the difference between an electronic conductor and an electrolyte ? What are non-electrolytes ? Explain with examples.]

2. তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ কাহাকে বলে? সাধারণ কোষের সহিত তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষের পার্থক্য বল। তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষে ক্যাথোড ও অ্যানোডের ভূমিকা কি?

[What is an electrolytic cell ? State the differences between a common cell and an electrolytic cell. What is the role of cathode and anode in an electrolytic cell ?]

3. তড়িৎ-বিয়োজনবাদ সম্পর্কে যাহা জান লিখ।

[Write down the theory of electrolytic dissociation.]

4. তড়িৎ-বিশ্লেষণ কি? কোন ভোল্টামিটারে ব্যবহৃত তরলের মধ্য দিয়া তড়িৎ-পরিবহন পদ্ধতি আলোচনা কর।

[What is electrolysis ? Discuss the mode of electrical

conduction through the electrolytic solution in any voltameter.]

5. তড়িৎ-বিশ্লেষণ-সম্পর্কিত ফ্যারাডের সূত্রাবলী বল এবং ইহাদের পরীক্ষামূলক প্রমাণ দাও।

[State Faraday's laws of electrolysis and give their experimental verifications.]

6. কোন মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বলিতে কি বোঝ ? ইহার সহিত রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সম্পর্ক কি ? ফ্যারাডে কাহাকে বলে ?

[What is meant by electro-chemical equivalent of an element ? What is its relation with chemical equivalent ? What is a Faraday ?]

7. তড়িৎ-বিশ্লেষণের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ কর এবং উহাদের সংক্ষিপ্ত আলোচনা কর।

[State some practical applications of electrolysis and discuss them in short.]

8. একটি তামা ভোল্টামিটারে 0·1 অ্যাম্পিয়ার-প্রবাহ 1 ঘণ্টা ধরিয়া পাঠাইলে কত তামা মুক্ত হইবে তাহা নির্ণয় কর। প্রতি সেকেণ্ডে 1 অ্যাম্পিয়ার-প্রবাহ 0·00001035 গ্রাম হাইড্রোজেন মুক্ত করিতে পারে এবং তামার পারমাণবিক ওজন=63. [C. U. '28]

[Calculate how much copper would be deposited in a copper voltameter if 0·1 ampere passes through it for 1 hour. 1 amp. per sec. liberates 0·00001035 gm. of hydrogen, atomic weight of copper=63.] [Ans. 0·1173 gm.]

9. হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক=·0000105 গ্রাম/কুলম্ব এবং 1 গ্রাম হাইড্রোজেন অক্সিজেনের সহিত যুক্ত হইয়া জল তৈয়ারী করিলে 34,500 ক্যালরী তাপ উদ্ভূত হয়। জলের বিয়োজনের নিমিত্ত ন্যূনতম তড়িচ্চালক বল নির্ণয় কর। [1 ওয়াট=10^7 আর্গস্/সেকেণ্ড] [J. Entrance '71]

[Calculate the minimum e. m. f. necessary in order to decompose water, given E. C. E. of hydrogen=·0000105 gm./coulomb, heat yield of 1 gm. of hydrogen in combining to form water=34,500 calories. 1 watt=10^7 ergs/sec.]

[Ans. 1·521 volts.]

10. তাম্র ভোল্টামিটারের সাহায্যে 0—2 অ্যাম্পিয়ার পাল্লার একটি অ্যাম্মিটার ক্রমাঙ্কিত করিতে গিয়া নিম্নলিখিত উপাত্তগুলি পাওয়া গেল :

ক্যাথোডের প্রারম্ভিক ওজন=50·120 গ্রাম, ক্যাথোডের চূড়ান্ত ওজন =50·701 গ্রাম, অ্যাম্মিটার পাঠ=1 অ্যাম্পিয়ার, সময়=30 মিনিট।

প্রবাহমাত্রার প্রকৃত মান নির্ণয় কর এবং শতকরা ত্রুটি নির্ধারণ কর। তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক=0·000329. [C. U. '66]

[In calibrating a 0—2 ampere ammeter by using a copper voltameter, the following data were obtained :

Initial weight of the cathode = 50·120 gms., final weight of the cathode=50·701 gms., ammeter reading=1 amp., time=30 minutes. Determine the true value of current and hence percentage error. E. C. E. of copper=0·000329.]

[0·97 amp. 3%]

11. 300 বর্গ সে. মি. ক্ষেত্রফলের একটি ধাতব প্লেটের উপর নিকেলের প্রলেপ দিতে হইবে। এই উদ্দেশ্যে 3 ঘণ্টাব্যাপী 1·5 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ-মাত্রা পাঠাইলে প্রলেপ কত পুরু হইবে? নিকেলের ঘনত্ব=8·8 গ্রাম/সি.সি. এবং নিকেলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক=0·000304 গ্রাম/কুলম্ব।

[A metal plate having a total surface area of 300 sq. cm. is to be nickel-plated. If a current of 1·5 amp. is used for 3 hours, find the thickness of the nickel deposited on the plate. Density of nickel=8·8 gm./c. c. and E. C. E. of nickel=0·000304 gm./coulomb.] [Ans. $1·89 \times 10^{-3}$ cm.]

———

পঞ্চম অধ্যায়

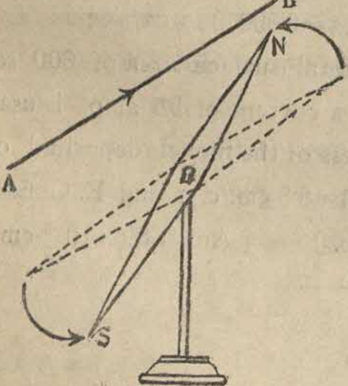
তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফল

(Magnetic Effect of Current)

5.1. চুম্বকের উপর তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়া (Action of current on magnet) :

1819 খ্রীস্টাব্দে ডেনমার্কের বিজ্ঞানী **ওর্‌স্টেড** (Oersted) সর্বপ্রথম লক্ষ্য করেন যে, একটি পরিবাহী তারের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ চলাকালীন তারের চারিদিকে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। তড়িৎবাহী তারের নিকট কোন চুম্বক-শলাকা রাখিলে ঐ চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে শলাকার বিক্ষেপ ঘটে। শলাকার বিক্ষেপ চৌম্বকক্ষেত্রের অস্তিত্ব প্রমাণ করে। এই ঘটনাকে তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফল বলা হয়।

ওর্‌স্টেডের পরীক্ষা : তড়িৎপ্রবাহের ফলে উদ্ভূত চৌম্বকক্ষেত্রের অস্তিত্ব ও তাহার প্রকৃতি ওর্‌স্টেডের পরীক্ষা হইতে জানা যায়। AB একটি তড়িৎ-পরিবাহী তার (চিত্র 5.1)। SN ঐ তারের তলায় সমান্তরালভাবে রাখা একটি চুম্বক-শলাকা। যদি AB তারে তড়িৎ প্রবাহিত করা হয় তবে দেখা যাইবে যে, শলাকাটি বিক্ষিপ্ত হইতেছে। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, শলাকাটির উপর অন্য কোন চৌম্বক-ক্ষেত্রের প্রভাব ঘটিতেছে। তড়িৎ-প্রবাহ বিপরীতমুখী করিলে শলাকার বিক্ষেপও বিপরীত দিকে ঘটে। উপ-রোক্ত দুই ক্ষেত্রেই শলাকার অবস্থান পরিবাহীর নীচে না হইয়া উপরে হইলে বিক্ষেপ শলাকার নিম্ন অবস্থানের ক্ষেত্রের উল্টাদিকে হইত। উদাহরণ-স্বরূপ, চিত্রে A হইতে B বিন্দুর দিকে তড়িৎপ্রবাহের ফলে শলাকার বিক্ষেপ ঘড়ির কাঁটার বিপরীতে দেখান হইয়াছে। তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ অপরি-বর্তিত রাখিয়া শলাকাটিকে তারের উপরে রাখিলে শলাকার বিক্ষেপ ঘড়ির কাঁটার দিকে ঘটিবে।



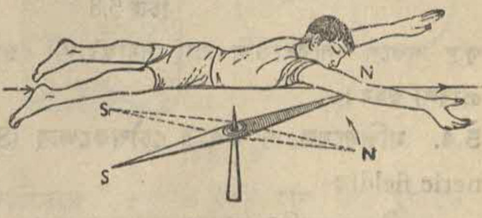
চিত্র 5.1

সমস্ত ক্ষেত্রেই তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ করিলে বিক্ষেপও বন্ধ হয়—অর্থাৎ চৌম্বকক্ষেত্র অন্তর্হিত হয়। স্থির-তড়িতের ক্ষেত্রে কিন্তু এই ধরনের চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয় না। ইহা চল-তড়িতের একটি বিশেষ ধর্ম বলা যাইতে পারে।

চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপ মনোযোগের সহিত লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, শলাকার বিক্ষেপ নির্দিষ্ট নিয়মানুযায়ী ঘটে। অ্যাম্পিয়ারের সন্তরণ-নিয়মের সাহায্যে বিক্ষেপের দিকগুলি সহজে মনে রাখা যায়।

5.2. অ্যাম্পিয়ারের সন্তরণ-নিয়ম (Ampere's swimming rule) :

চিত্রে (চিত্র 5.2) একজন সাঁতারু পরিবাহী তার বরাবর উপুড় হইয়া সাঁতার কাটিতেছে। তারের ভিতর তড়িৎপ্রবাহ সাঁতারুর পা হইতে মাথার দিকে। একটি চুম্বক-শলাকা NS তারের নীচে সমান্তরালভাবে রাখা আছে। শলাকার এই অবস্থানে উত্তরমেরু (N) সাঁতারুর বাম হাতের দিকে বিক্ষিপ্ত হইবে। ইহাই অ্যাম্পিয়ারের নিয়ম। সাঁতারু চিৎ-সাঁতার কাটিলে বা তড়িৎপ্রবাহ বিপরীতমুখী করিলে উত্তরমেরু সাঁতারুর ডান হাতের দিকে বিক্ষিপ্ত হইত।



চিত্র 5.2

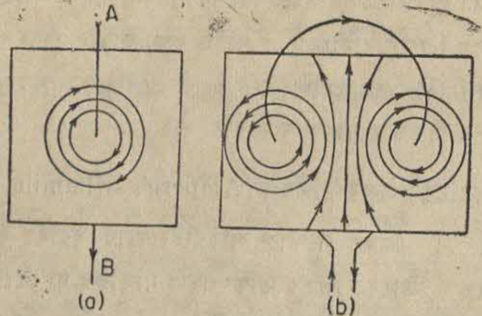
চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপ উপরোক্ত নিয়ম ছাড়া আরও কয়েকটি নিয়মের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়।

5.3. ঋজু ও বৃত্তাকার তড়িৎপ্রবাহের জন্য চৌম্বকক্ষেত্র (Magnetic field due to straight and circular currents) :

ঋজু তড়িৎপ্রবাহের জন্য যে চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয় তাহার বলরেখাগুলি বৃত্তাকার ও সমকেন্দ্রিক। এই বলরেখাগুলি সর্বদা প্রবাহের অভিমুখের অভিলম্ব তলে অবস্থান করে। 5.3 (a) চিত্রে AB একটি ঋজু পরিবাহী তারের জন্য বলরেখাগুলি তারের অভিলম্ব একটি বোর্ডের উপর দেখান হইয়াছে। বোর্ডের উপর কিছু লৌহচূর্ণ সমানভাবে ছড়াইয়া বোর্ডে মৃদু মৃদু আঘাত করিলে লৌহচূর্ণগুলি বৃত্তাকার বলরেখা বরাবর সজ্জিত হইবে।

লৌহচূর্ণের সাহায্যে একটি বৃত্তাকার পরিবাহীর ক্ষেত্রেও বলরেখার সন্ধান করা যায়। 5.3 (b) চিত্রে তড়িৎবাহী একটি বৃত্তাকার তারের জন্য বলরেখা

কার্ডবোর্ডের উপর দেখান হইয়াছে। লক্ষ্যণীয় যে, তারের কাছাকাছি বলরেখাগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্ত এবং বৃত্তাকার তারের কেন্দ্রের কাছাকাছি

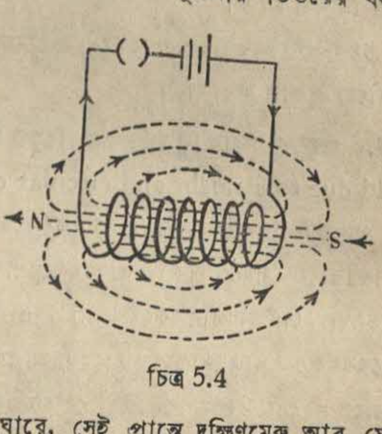


চিত্র 5.3

ক্ষুদ্র অঞ্চলে বলরেখাগুলি প্রায় সমান্তরাল। সুতরাং এই অঞ্চলে চৌম্বক-প্রাবল্য সুষম।

5.4. সলিনয়েড ও ইহার চৌম্বকক্ষেত্র (Solenoid and its magnetic field) **:**

কুণ্ডলীকৃত অন্তরিত তারকে সলিনয়েড বলে। এই কুণ্ডলীর প্রতিটি পাক স্প্রিং-এর অক্ষের সহিত অভিলম্ব অবস্থায় থাকে। 5.4 চিত্রে একটি তড়িৎ-বাহী সলিনয়েডের চৌম্বকক্ষেত্র দেখানো হইয়াছে। কুণ্ডলীর ভিতরের বল-রেখাগুলি অক্ষের সমান্তরাল। চিত্র হইতে বুঝা যাইতেছে, বলরেখাগুলি একটি দণ্ড-চুম্বকের বলরেখার মত। সুতরাং বলা যায়, **একটি তড়িৎবাহী সলিনয়েড দণ্ড-চুম্বকের মত চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি করে, কিন্তু নিজে চুম্বকিত হয় না।** সলিনয়েডের যে প্রান্তে

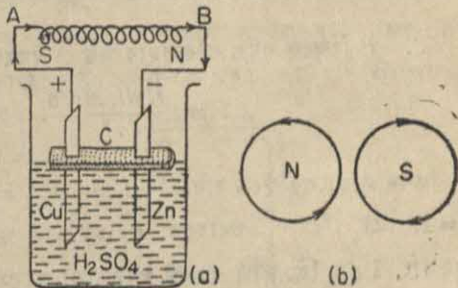


চিত্র 5.4

তড়িৎপ্রবাহ ঘড়ির কাঁটার মত ঘোরে, সেই প্রান্তে দক্ষিণমেরু আর যে প্রান্তে প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার বিপরীতে, সেই প্রান্তে উত্তরমেরুর সৃষ্টি হয়। চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য প্রবাহমাত্রা ও প্রতি একক দৈর্ঘ্যে সলিনয়েডের পাকের সংখ্যার সমানুপাতিক।

5.5. ডি-লা রিভের ভাসমান ব্যাটারী (De-la Rive's floating battery) :

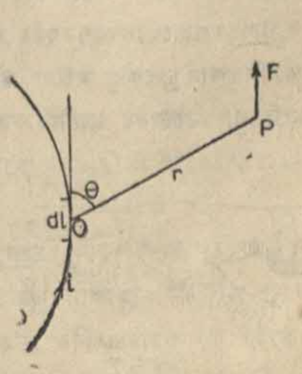
কোন তড়িৎবাহী সলিনয়েড যে দণ্ড-চুম্বকের মতো ব্যবহার করে তাহা ডি-লা রিভের ভাসমান ব্যাটারীর পরীক্ষা দ্বারা সহজে দেখানো যায়। একটি কাচপাত্রে লঘু H_2SO_4 এ্যাসিড লইয়া উহার মধ্যে তামা ও দস্তার পাত বসাইয়া একটি সরলকোষ তৈয়ারী করা হইল [চিত্র 5.5(a)]। পাত দুইটি একটি কর্কের ফলক (C) দ্বারা পরস্পর বিচ্ছিন্ন এবং তরলে ভাসমান। কর্কের উপর পাতগুলির সহিত একটি সলিনয়েড (AB) যোগ করা হইল। দেখা যাইবে, AB কুণ্ডলীটি সর্বদা উত্তর-দক্ষিণ দিক করিয়া অবস্থান করিতেছে। কুণ্ডলীটি একটু হাত দিয়া ঘুরাইয়া দিলে কোষটি কয়েকবার ঘুরিয়া আবার AB-র উত্তর-দক্ষিণ অবস্থানে স্থির হইবে। একটি দণ্ড-চুম্বকের সাহায্যে পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, A-প্রান্তে S-মেরু এবং B-প্রান্তে N-মেরু উৎপন্ন হইয়াছে। কুণ্ডলীতে প্রবাহের অভিমুখ বিচার করিলে কোন্ প্রান্তে কোন্ মেরুর উদ্ভব হইবে তাহা বাহির করা যায়। 5.5(b) চিত্রে ইহা দেখান হইয়াছে।



চিত্র 5.5

5.6. লাপ্লাসের সূত্র (Laplace's law) :

তড়িৎপ্রবাহের জন্য কোন পরিবাহীর চতুর্দিকে যে চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয় তাহার যে কোন বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্য লাপ্লাসের সূত্র হইতে জানা যায়। 5.6 চিত্রে একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়া i পরিমাণ প্রবাহ দেখান হইয়াছে। পরিবাহীর একটি ক্ষুদ্র অংশ dl এর জন্য উহার মধ্যবিন্দু O হইতে r দূরত্বে



চিত্র 5.6

P বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্য, $dF \propto \frac{i.\ dl.\ \sin\theta}{r^2}$, এখানে θ, dl অংশে প্রবাহের অভিমুখ ও OP-র মধ্যবর্তী কোণ।

$\therefore \quad dF = K \cdot \frac{i.\ dl.\ \sin\theta}{r^2}$, K = ভেদের ধ্রুবক। তড়িচ্চুম্বকীয় একক (*e. m. u.*) এমনভাবে নির্ধারণ করা হয় যাহাতে $K=1$ হয়।

সুতরাং *e. m. u.*-তে, $dF = \frac{i.\ dl.\ \sin\theta}{r^2}$

$\therefore$ P বিন্দুতে সমগ্র পরিবাহীর জন্য চৌম্বকক্ষেত্র-প্রাবল্য

$$F = \Sigma \frac{i.\ dl.\ \sin\theta}{r^2}.$$ ইহাই লাপ্লাসের সূত্র।

এখন লাপ্লাসের সূত্রে যদি $dl=1$, $\theta=90°$, $r=1$ এবং $F=1$ হয়, তবে $i=1$, এই পরিমাণ প্রবাহকে প্রবাহমাত্রার তড়িচ্চুম্বকীয় একক বলে। **সুতরাং, 1 সে. মি. দীর্ঘ একটি পরিবাহী তারকে 1 সে. মি. ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তের আকারে বাঁকাইয়া উহাতে যে পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ চালনা করিলে বৃত্তের কেন্দ্রে 1 ওরস্টেড ক্ষেত্র উৎপন্ন হইবে, তাহাকে প্রবাহমাত্রার তড়িচ্চুম্বকীয় একক বলা হইবে।** 1 ই. এম্. ইউ. (*e. m. u.*) = 10 অ্যাম্পিয়ার।

5.7. তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া (Action of magnet on current) :

তড়িৎপ্রবাহের দরুণ সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র যেমন চুম্বকের উপর ক্রিয়া করে, তেমনি কোন চুম্বকের নিজস্ব চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যে কোন তড়িৎবাহী তার আনিলে, নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুযায়ী, চৌম্বকক্ষেত্র তড়িৎপ্রবাহের উপর একটি প্রতিক্রিয়া করে। পরিবাহী তার চুম্বক কর্তৃক আকর্ষিত বা বিকর্ষিত হয়, ফলে নিজ অবস্থান হইতে বিক্ষিপ্ত হইতে চায়। চৌম্বকক্ষেত্র ও তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ অনুযায়ী তড়িৎ-বাহী তার কোন্ দিকে বিক্ষিপ্ত বা বিচলিত হইবে তাহা ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম (Fleming's left-hand rule) দ্বারা বর্ণনা করা যায়।



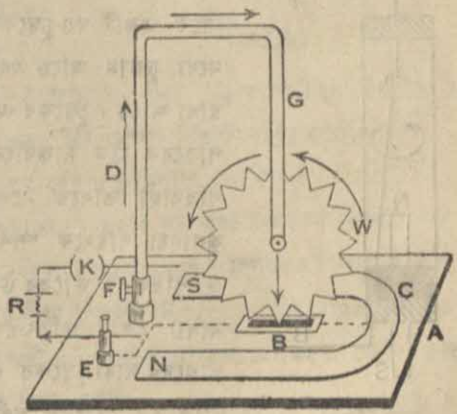
চিত্র 5.7

বামহস্তের তর্জনী, মধ্যমা ও বৃদ্ধাঙ্গুলী পরস্পরের সহিত সমকোণে যদি এমনভাবে রাখা যায় যাহাতে তর্জনী চৌম্বকক্ষেত্র ও মধ্যমা তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ নির্দেশ করে তবে বৃদ্ধাঙ্গুলী পরিবাহী তারের গতির দিক নির্দেশ করিবে।

বার্লোর চক্রের সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া দেখান যাইতে পারে।

5.7a. বার্লোর চক্র (Barlow's wheel) :

এই যন্ত্রে কয়েকটি দাঁতবিশিষ্ট তারকাকৃতি একটি পাতলা ধাতব চক্র *W* আছে (চিত্র 5.8)। একটি কাঠের পাটাতন *A*-তে একটি ছোট গর্ত (*B*) আছে এবং গর্তে কিছু পারদ রাখা আছে। একটি অশ্বক্ষুরাকৃতি চুম্বক *C*-কে পাটাতনের উপর এমন ভাবে রাখা হয় যাহাতে গর্তটি চুম্বকের দুই বাহুর মধ্যে অবস্থান করে। পাটাতনের এক পাশে একটি খাড়া ধাতব দণ্ড *D*, ইহার সহিত অপর একটি দণ্ড *G* বাঁকাভাবে লাগান আছে। *G*-এর শেষপ্রান্ত *W*-র সহিত এমনভাবে আটকানো যাহাতে *W* উল্লম্বতলে বিনা বাধায় ঘুরিতে পারে। *W*-র ঠিক ভূমিতলে পারদপাত্রটি থাকে যাহাতে *W*-র ঘূর্ণনকালে ইহার প্রত্যেকটি দাঁত পর্যায়ক্রমে পারদতল স্পর্শ করে। সংযোজক স্ক্রু *E* ও *F*-এর সাহায্যে ব্যাটারী *R* হইতে *DGWB* বরাবর তড়িৎপ্রবাহ চালনা করা হয়।



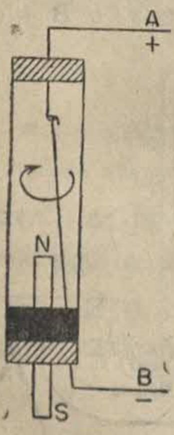
চিত্র 5.8

এখানে *C* চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্র তড়িৎপ্রবাহের সমকোণে। তড়িৎপ্রবাহ পারদের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হয়। যেইমাত্র চাকার একটি দাঁত পারদ হইতে সরিয়া যাইবে অমনি সংযোগ ছিন্ন হওয়ায় তড়িৎপ্রবাহও বন্ধ হইবে। কিন্তু চাকার গতিজাড্যের দরুণ পরবর্তী দাঁত আসিয়া পারদ স্পর্শ করিবে, ফলে তড়িৎপ্রবাহ শুরু হইবে। এই প্রক্রিয়া চলিতে থাকায় চাকাটি ঘুরিতে থাকিবে।

তড়িৎপ্রবাহ, চৌম্বকক্ষেত্র ও পরিবাহীর গতির অভিমুখ লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, উহা ফ্লেমিং-এর বামহস্তের নিয়ম মানিয়া চলিতেছে। তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ বা চুম্বকের মেরুদ্বয়ের স্থান-বিনিময় ঘটাইলে চাকাটি উল্টাদিকে ঘুরিবে।

5.8. তড়িৎবাহী-তারের ঘূর্ণন (Rotation of a wire carrying current) **:**

একটি সহজ পরীক্ষার মাধ্যমে চৌম্বকক্ষেত্রে তড়িৎবাহী তারের বিচলন ও ঘূর্ণন দেখানো যাইতে পারে। একটি খাড়া কাচনলের দুই খোলা মুখ শক্ত কর্কের ছিপি দ্বারা বন্ধ (চিত্র 5.9)। নীচের দিকে একটি দণ্ড-চুম্বকের (*NS*) অর্ধাংশ ছিপির মধ্যে ঢুকান আছে এবং কর্কের উপরে কিছু পারদ রাখা আছে। চুম্বকের একটি মেরু (এখানে *N* মেরু) পারদের ঠিক মাঝখানে অবস্থান করে। একটি পরিবাহী তারকে নলের মধ্যে আংটার সাহায্যে ঝুলাইয়া পারদকে স্পর্শ করান হইয়াছে। পারদ ও পরিবাহী তারের ঊর্ধাংশের মধ্যে (*A* ও *B*-র মধ্যে) কোন তড়িৎ-কোষ যুক্ত করিলে তারটি পারদের মধ্যে চুম্বকের মেরুর চারিপাশে ঘুরিতে থাকিবে। তারের ঘূর্ণনের দিক ফ্লেমিং-এর বাম-হস্তের নিয়ম দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়।



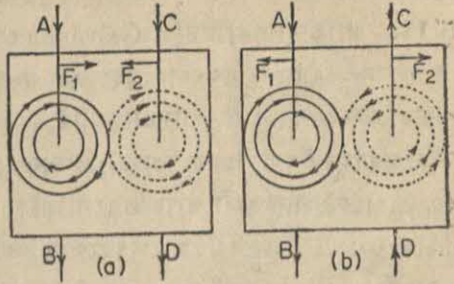
চিত্র 5.9

5.9. প্রবাহের উপর প্রবাহের ক্রিয়া (Action of current on current) **:**

তড়িৎপ্রবাহী দুইটি তার কাছাকাছি থাকিলে উহাদের দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক-ক্ষেত্রের জন্য একে অন্যের উপরে বল প্রয়োগ করে। পরিবাহী দুইটির মধ্যে এই পারস্পরিক বলের জন্য ইহারা পরস্পর নিকটে আসে বা দূরে সরিয়া যায়। নিম্নে দুইটি সমান্তরাল পরিবাহী তারের ক্ষেত্রে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল দেখানো হইল।

AB এবং *CD* দুইটি দীর্ঘ ঋজু তার পরস্পর সমান্তরালে সামান্য দূরে আছে [চিত্র 5.10(a)]। ইহাদের ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ যথাক্রমে *A* হইতে *B*-এর দিকে এবং *C* হইতে *D*-এর দিকে। প্রবাহের অভিমুখ অনুসারে ইহাদের

পৃথক পৃথক চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখাগুলি দেখান হইয়াছে। AB এবং CD তারে প্রযুক্ত যান্ত্রিক বলগুলি F_1 এবং F_2 হইলে, ফ্লেমিং-এর বামহস্তের নিয়ম প্রয়োগ করিলে দেখা যাইবে F_1 এবং F_2 পরস্পর মুখোমুখি। সুতরাং AB এবং CD তারদ্বয় বিচলনক্ষম হইলে পরস্পর নিকটে আসিতে চাহিবে।



চিত্র 5.10

5.10 (b) চিত্রে AB এবং CD-এর ভিতর প্রবাহদ্বয় বিপরীতমুখী। ইহাতে F_1 এবং F_2-র অভিমুখ বিপরীত তার হইতে দূরে। ফলে AB এবং CD পরস্পর বিকর্ষিত হইতে চাহে।

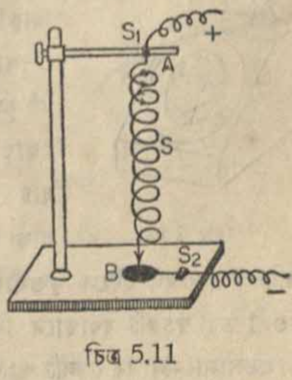
সুতরাং, সমান্তরাল প্রবাহের সূত্র হিসাবে বলা যায় :

(1) দুইটি সমমুখী সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পরকে আকর্ষণ করে, এবং

(2) দুইটি বিপরীতমুখী সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

5.10. রজেটের কম্পনশীল কুণ্ডলী (Roget's vibrating spiral) :

একটি দীর্ঘ তামার কুণ্ডলী (S) একটি স্ট্যাণ্ডের A বিন্দু হইতে খাড়াভাবে ঝুলানো আছে। নীচের দিকে একটি ভারী বল ঝুলাইয়া পাটাতনের গর্তে রক্ষিত পারদ (B)-কে স্পর্শ করানো আছে (চিত্র 5.11)। এখন চিত্রানুযায়ী S_1 এবং S_2 বন্ধনী স্ক্রু-র দ্বারা কোষের সাহায্যে কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করিলে কুণ্ডলীটি উপর-নীচে স্পন্দন করিতে থাকে।



চিত্র 5.11

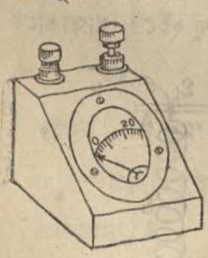
তড়িৎপ্রবাহের ফলে কুণ্ডলীর যে কোন দুইটি পাকের মধ্যে সমমুখী প্রবাহের জন্য আকর্ষণ ঘটে। কুণ্ডলীর পাকগুলি এইভাবে পরস্পর আকর্ষিত হইলে B প্রান্তে তার ও পারদের সংযোগ ছিন্ন হয়। তখন তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়। ইহাতে কুণ্ডলীটি স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে এবং পুনরায় পারদ স্পর্শ করে। এইরূপ

হইলে আবার তড়িৎ-বর্তনী সম্পূর্ণ হয় এবং তারগুলি সংকুচিত হয়। যতক্ষণ তড়িৎপ্রবাহ চলিবে, ততক্ষণ এই ক্রিয়া চলিতে থাকিবে এবং কুণ্ডলীটি উপর-নীচে কম্পিত হইবে।

5.11. গ্যালভ্যানোমিটার (Galvanometers) :

কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ হইতেছে কিনা বা হইলে কতটা পরিমাণ প্রবাহ ঘটিতেছে, তাহা গ্যালভ্যানোমিটার যন্ত্র দ্বারা বাহির করা হয়। তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়ার ভিত্তিতে যে গ্যালভ্যানোমিটার গঠিত হয়, তাহাকে **চল-কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটার** (Moving coil galvanometer) বলে। এখানে স্থির চৌম্বকক্ষেত্রে একটি কুণ্ডলীর বিক্ষেপ মাপিয়া প্রবাহমাত্রা বাহির করা হয়। অন্য আর এক প্রকার গ্যালভ্যানোমিটার চুম্বকের উপর তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়ার ভিত্তিতে গঠিত। ইহাদের **চল-চুম্বক গ্যালভ্যানোমিটার** (Moving magnet galvanometer) বলে। এখানে একটি স্থির তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর চৌম্বকক্ষেত্রে মুক্ত চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপ দেখিয়া প্রবাহমাত্রা বাহির করা হয়। নীচে কয়েকটি গ্যালভ্যানোমিটারের বর্ণনা ও কার্যনীতি বলা হইল।

(1) **টেবিল গ্যালভ্যানোমিটার** (Table galvanometer) **:** ইহা চল-কুণ্ডলী শ্রেণীর অন্তর্গত। সাধারণত পরীক্ষাগারে এই শ্রেণীর গ্যালভ্যানোমিটার ব্যবহার করা হয়। 5.12 চিত্রে ইহার আকৃতি দেখানো হইয়াছে। ইহার মধ্যে একটি U-আকৃতির স্থায়ী চুম্বক থাকে। একটি কুণ্ডলীকে এই চুম্বকের মধ্যে রাখা হয়। কুণ্ডলীটি ঘূর্ণনক্ষম, ইহার মধ্যে তড়িৎপ্রবাহ ঘটিলে কুণ্ডলীটি ঘুরিয়া যায়। কুণ্ডলীর অক্ষের সমকোণে আটকানো একটি হাল্কা সূচকের সাহায্যে ঘূর্ণন পরিমাপ করা যায়। তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ হইলে কুণ্ডলীর দুইপ্রান্তে আবদ্ধ দুইটি স্প্রিং-এর ক্রিয়ায় কুণ্ডলী তথা সূচকটি যথাস্থানে ফিরিয়া আসে। জানা প্রবাহমাত্রা পাঠাইয়া গ্যালভ্যানোমিটারের স্কেলটি অংশাঙ্কিত করা হয়।

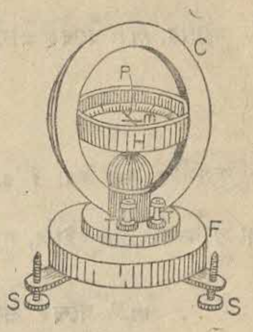


চিত্র 5.12

(2) **ট্যান্‌জেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার** (Tangent galvanometer) **:**

ইহা চল-চুম্বক শ্রেণীর গ্যালভ্যানোমিটার। এই যন্ত্রে একটি অন্তরিত তামার কুণ্ডলী (C) একটি উল্লম্ব কাঠের গোল ফ্রেমের মধ্যে বসান থাকে। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে একটি ক্ষুদ্র চুম্বক-শলাকা (m) আছে, ইহা বাধাহীনভাবে

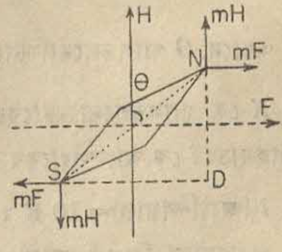
অনুভূমিক তলে ঘুরিতে পারে (চিত্র 5.13)। শলাকার সহিত সমকোণে আটকানো একটি সূচক P বৃত্তাকার স্কেলের (H) উপর দিয়া ঘুরিতে পারে। কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত নীচের কাঠের পাটাতন F-এর উপরে দুইটি বন্ধনী স্ক্রু TT-র সহিত যুক্ত। পাটাতনকে অনুভূমিক করিবার উদ্দেশ্যে কয়েকটি স্ক্রু (S, S) দেওয়া আছে। তার-জড়ানো ফ্রেমটি একটি উল্লম্ব অক্ষের চারিদিকে ঘুরিতে পারে।



চিত্র 5.13

যন্ত্রটি ব্যবহার করিবার পূর্বে SS-এর সাহায্যে পাটাতনটি অনুভূমিক করা হয়। তার-জড়ানো ফ্রেমটি ঘুরাইয়া কুণ্ডলীর তল m চুম্বকের মধ্যতলে আনা হয়। ইহাতে P সূচকটি বৃত্তাকার স্কেলের 0°-0° দাগের সহিত মিলিয়া থাকে। ইহার পর TT-র মাধ্যমে কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করিলে চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপ হইবে এবং সূচকের সাহায্যে স্কেল হইতে বিক্ষেপ-কোণ দেখিতে হইবে।

মূলতত্ত্ব ঃ কুণ্ডলী ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে অবস্থান করে। কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের জন্য কেন্দ্রে যে সমবল চৌম্বকক্ষেত্রের উৎপত্তি হয় তাহার অভিমুখ কুণ্ডলীর তলের অভিলম্ব বরাবর, সুতরাং ইহা ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রেরও অভিলম্ব হয়। এই দুই ক্ষেত্র পরস্পর অভিলম্ব থাকিয়া শলাকার উপর পরস্পরবিরোধী দুইটি দ্বন্দ্বের (couple) সৃষ্টি করে। ইহাতে শলাকা একটি বিশেষ কোণে বিক্ষিপ্ত হইয়া সাম্য অবস্থানে আসে।



চিত্র 5.14

শলাকা ভূ-চৌম্বক তল হইতে θ কোণে বিক্ষিপ্ত হইলে, মনে কর, এই স্থানে ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ H, তড়িৎপ্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য F এবং শলাকার মেরুশক্তি m; সুতরাং শলাকার উপর mH, mH এবং mF, mF দ্বন্দ্ব দুইটি ক্রিয়া করিবে (চিত্র 5.14)।

$$mH \text{ দ্বন্দ্বের ভ্রামক} = mH \times SD$$
$$= mH \times 2l \sin\theta, \; (2l = NS \text{ চুম্বকের দৈর্ঘ্য})$$
$$= 2lmH \sin\theta.$$

আবার, mF দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= mF \times ND$
$$= mF \times 2l \cos\theta$$
$$= 2lmF \cos\theta.$$

কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া i *e.m.u.* প্রবাহ ঘটিলে এবং কুণ্ডলীর গড় ব্যাসার্ধ r এবং পাক-সংখ্যা n হইলে, লাপ্লাসের সূত্রানুযায়ী, $F = \frac{2\pi ni}{r}$

$$\therefore \; mF \text{ দ্বন্দ্বের ভ্রামক} = 2lm.\frac{2\pi ni}{r}\cos\theta$$

শলাকার সাম্য-অবস্থানে, mH দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= mF$ দ্বন্দ্বের ভ্রামক

$$\therefore \; 2lmH \sin\theta = 2lm\frac{2\pi ni}{r}\cos\theta$$

$$\text{বা, } H \tan\theta = \frac{2\pi ni}{r}$$

$$\therefore \; i = \frac{H}{\left(\frac{2\pi n}{r}\right)}\tan\theta = \frac{H}{G}\tan\theta = K\tan\theta.$$

এখানে, G গ্যালভ্যানোমিটারের একটি ধ্রুবক, $G = \frac{2\pi n}{r}$ এবং $K = \frac{H}{G}$.

K-কে গ্যালভ্যানোমিটারের লঘূগুণক (reduction factor) বলে। প্রবাহমাত্রা i-কে অ্যাম্পিয়ারের প্রকাশ করিলে,

i (অ্যাম্পিয়ার) = 10 K tan θ.

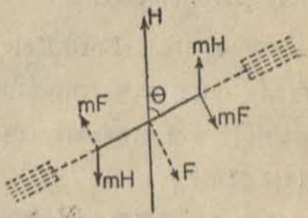
প্রবাহমাত্রা বিক্ষেপ-কোণের (θ) ট্যান্‌জেন্টের সমানুপাতিক বলিয়া এই যন্ত্রকে ট্যান্‌জেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার বলা হয়।

ট্যান্‌জেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের চুম্বক-শলাকাটি ক্ষুদ্র আকারের হওয়া উচিত, ইহার কারণ আমরা ধরিয়া লই যে কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের জন্য চুম্বক-শলাকা সমবল চৌম্বকক্ষেত্রে বিচরণ করে। প্রকৃতপক্ষে কুণ্ডলীর কেন্দ্র-স্থলে অতি অল্প পরিমাণ স্থানেই কেবলমাত্র এই সমবল চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্ট হয়। এই যন্ত্রকে সুবেদী করিতে হইলে F-এর মান বাড়াইতে হয়। অর্থাৎ, কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা (n) বাড়াইতে ও ব্যাসার্ধ (r) কমাইতে হয়।

(3) সাইন গ্যালভ্যানোমিটার (Sine galvanometer) :

ইহা ট্যান্‌জেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার যন্ত্রের মতই। এখানে তারের কুণ্ডলীটি উহার কেন্দ্রগত একটি উল্লম্ব অক্ষের চারিদিকে আবর্তন করিতে পারে এবং পাটাতনের উপরের একটি স্কেল হইতে এই আবর্তন পরিমাপ করা যায়।

এই যন্ত্রের কার্যনীতিও ট্যান্‌জেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের মত, তবে শলাকার বিক্ষিপ্ত অবস্থানে কুণ্ডলীটি ঘুরাইয়া কুণ্ডলীর তল ও শলাকার তল এক করিতে হয়। ইহাতে তড়িৎ-প্রবাহের দরুণ সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের (F) অভিমুখ শলাকার অক্ষের অভিলম্ব বরাবর হয় (চিত্র 5.15)।



চিত্র 5.15

এখন, বিক্ষেপকারী দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= mF \times 2l$ ($2l =$ শলাকার দৈর্ঘ্য)

ও স্থিতিকারী দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= mH \times 2l \sin\theta$

শলাকার সাম্য-অবস্থানে $mF \times 2l = mH \times 2l \sin\theta$

বা $F = H \sin\theta$.

আবার, $F = \dfrac{2\pi ni}{r} = \dfrac{2\pi nI}{10r}$

যেখানে $i =$ e. m. u.-তে প্রবাহমাত্রা এবং $I =$ অ্যাম্পিয়ারে প্রবাহমাত্রা।

$$\therefore \quad \frac{2\pi nI}{10r} = H \sin\theta$$

$$\text{বা,} \quad I = \frac{10rH}{2\pi n} \cdot \sin\theta = K \sin\theta.$$

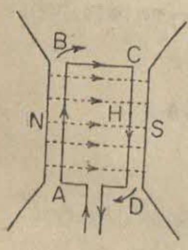
অর্থাৎ, প্রবাহমাত্রা (I) বিক্ষেপ-কোণের (θ) $\sin$-এর সমানুপাতিক। ট্যান্‌জেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার অপেক্ষা সাইন গ্যালভ্যানোমিটারের সুবিধা এই যে, ইহাতে একই প্রবাহমাত্রায় শলাকার বিক্ষেপ বেশী হয়। উদাহরণ-স্বরূপ, যেহেতু $\tan 45° = 1$ এবং $\sin 90° = 1$, সুতরাং যে প্রবাহমাত্রা ট্যান্‌জেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারে 45° বিক্ষেপ করে, তাহা সাইন গ্যালভ্যানোমিটারে 90° বিক্ষেপ করে।

সাইন গ্যালভ্যানোমিটারে সর্বাধিক যে পরিমাণ প্রবাহমাত্রা মাপা যায় তাহা হইল, $K=\frac{10rH}{2\pi n}$ অ্যাম্পিয়ার (যেহেতু θ, 90°-র বেশী হয় না)।

(4) **ডি' আরসোনভ্যাল গ্যালভ্যানোমিটার বা চল-কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটার** (D' Arsonval galvanometer or Moving Coil galvanometer) :

লর্ড কেল্‌ভিন (Lord Kelvin) এই ধরণের গ্যালভ্যানোমিটার উদ্ভাবন করেন। পরে ডি' আরসোনভ্যাল ইহার উন্নতি করেন। এই যন্ত্রে একটি পরিবাহী কুণ্ডলী আয়তাকার ধাতব ফ্রেমের গায়ে জড়াইয়া একটি চৌম্বকক্ষেত্রে ঝুলান হয়।

মনে কর, চৌম্বকক্ষেত্রে প্রলম্বিত এইরূপ একটি চতুষ্কোণ তার $ABCD$-র ভিতর দিয়া i e. m. u. প্রবাহমাত্রা ঘটিতেছে এবং চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য H (চিত্র 5.16)। AB এবং CD বাহুদ্বয়ের প্রত্যেকের দৈর্ঘ্য l হইলে, প্রত্যেক বাহুতে Hil পরিমাণ বল ক্রিয়া করিয়া কুণ্ডলীটিকে ঘড়ির কাঁটার দিকে বিক্ষিপ্ত করিতে চাহিবে। BC এবং AD বাহুদ্বয়ে প্রবাহমাত্রা H-এর সমান্তরাল বলিয়া কোন ক্রিয়া হইবে না। কুণ্ডলীর ঘূর্ণনের জন্য ঝুলন-রজ্জু একটি মোচড় পায় এবং কুণ্ডলীর উপর বিরুদ্ধ দ্বন্দ্বের উৎপত্তি করিয়া কুণ্ডলীকে প্রাথমিক অবস্থানে ফিরাইয়া আনিতে চেষ্টা করে। বিক্ষেপ সৃষ্টিকারী দ্বন্দ্বের ভ্রামক= $Hil\times BC=Hil\times b$, $[BC=b]$ ঝুলন-রজ্জুর ব্যবর্ত-দ্বন্দ্বের ভ্রামক$=C\theta$, এখানে C=একক মোচড়ের দরুণ ব্যবর্ত-দ্বন্দ্বের ভ্রামক এবং θ=কুণ্ডলীর বিক্ষেপ-কোণ।



চিত্র 5.16

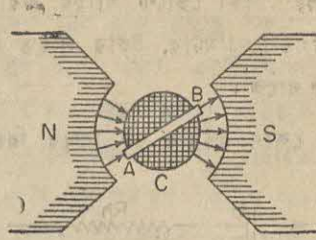
$\therefore$ কুণ্ডলীর সাম্য-অবস্থানে, $Hil.b=C\theta$.

কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা n হইলে, এবং $lb=A$ (কুণ্ডলীর মুখের ক্ষেত্রফল) ধরিয়া, লিখিতে পারি, $nHiA=C\theta$

বা, $i=\frac{C}{nHA}\theta=K\theta$, এখানে $K=\frac{C}{nHA}$ একটি ধ্রুবক। $\therefore i\propto\theta$.

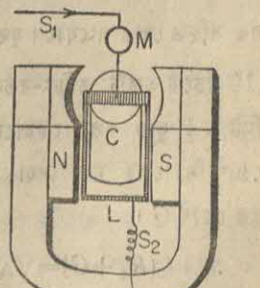
এই গ্যালভ্যানোমিটারে তড়িৎপ্রবাহ-নির্দেশক সমীকরণটি বাহির করিবার সময় ধরা হয় যে, NS চুম্বকের বলরেখাগুলি সর্বদা চতুষ্কোণ কুণ্ডলীর ($ABCD$)

তলের সমান্তরাল হয়। NS চুম্বকের মেরুমুখ দুইটি সমতল করিলে কুণ্ডলীর সকল অবস্থানে বলরেখাগুলি তলের সমান্তরাল থাকে না ; এই কারণে, মেরুমুখ দুইটি সমতল না করিয়া চোঙাকৃতি করা হয়। এইরূপ মেরুদ্বয়ের মধ্যে একটি নরম লোহার নিরেট চোঙ (C) রাখা হয় (চিত্র 5.17)। ইহাতে বলরেখাগুলি ব্যাসার্ধ-বরাবর হয় এবং কুণ্ডলীর সকল অবস্থানে উহার তলের সমান্তরাল হয়।



চিত্র 5.17

ডি' আরসোনভ্যাল গ্যালভ্যানোমিটারের গঠন 5.18 চিত্রে দেখান হইয়াছে। L একটি ধাতব ফ্রেম, ইহার উপর তামার কুণ্ডলীটি জড়ান হয়। একটি পাতলা ফস্‌ফর-ব্রোঞ্জ (phosphor-bronze) রজ্জু দ্বারা কুণ্ডলীটি NS অশ্বক্ষুর চুম্বকের দুই মেরুর মধ্যে ঝুলান থাকে। NS-এর মধ্যে C একটি নরম লোহার নিরেট চোঙ। কুণ্ডলীর নীচের দিকে ফস্‌ফর-ব্রোঞ্জের একটি স্প্রিং S_2 যুক্ত আছে। ঝুলন-রজ্জুর সহিত একটি ছোট গোলাকার আয়না M লাগান থাকে। ঐ দর্পণের উপর আলোক ফেলিয়া বাতি এবং স্কেল-পদ্ধতিতে কুণ্ডলীর বিক্ষেপ পরিমাপ করা হয়।



চিত্র 5.18

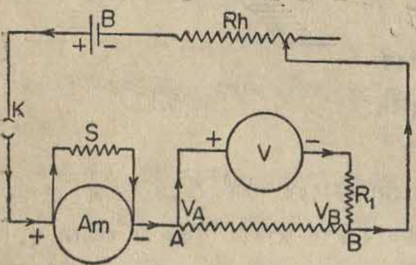
এই গ্যালভ্যানোমিটারের সুবিধা এই যে, ইহাতে কোন চুম্বক-শলাকা ব্যবহার করিতে হয় না। উপরন্তু ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের কোন প্রভাব ইহার উপর নাই। এই যন্ত্র খুব সুবেদী এবং ক্ষীণ বা দীর্ঘস্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ পরিমাপ করা সম্ভব। কুণ্ডলী ধাতব ফ্রেমের উপর জড়ানো থাকে বলিয়া তড়িচ্চুম্বকীয় ক্রিয়ায় কুণ্ডলী দ্রুত স্থির অবস্থানে আসে—অনেকক্ষণ ধরিয়া বা পুনঃপুনঃ আন্দোলিত হয় না।

5.12. ভোল্টমিটার ও অ্যামিটার (Voltmeters and ammeters) :

যে যন্ত্রের সাহায্যে কোন বর্তনীর দুই বিন্দুর বিভব-পার্থক্য

সরাসরি পাঠ করা যায় তাহাকে ভোল্টমিটার বলে। ভোল্টমিটারে বিভব-পার্থক্য ভোল্টে বাহির করা যায়। ভোল্টমিটার প্রকৃতপক্ষে একটি গ্যালভ্যানোমিটার, ইহার সহিত উপযুক্ত উচ্চমানের রোধ শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত থাকে।

কোন বর্তনীর দুই বিন্দুর বিভব-পার্থক্য বাহির করিবার জন্য ভোল্ট-মিটারটি ঐ দুই বিন্দুতে বর্তনীর সমান্তরালে যোগ করা হয়। ভোল্টমিটারের ভিতর দিয়া বেশী পরিমাণে প্রবাহ ঘটিলে ঐ দুই বিন্দুর বিভব-পার্থক্য কমিয়া যায়। ফলে সঠিক পাঠ পাওয়া যায় না। এই কারণে একটি উচ্চমানের রোধ ভোল্ট-মিটারের সহিত শ্রেণী-সংযোগে যুক্ত থাকে।



চিত্র 5.19

5.19 চিত্রে একটি তড়িৎ-বর্তনীর মধ্যস্থিত রোধক AB-র প্রান্তদ্বয়ে একটি ভোল্টমিটার V যুক্ত করা হইয়াছে। R_1 একটি উচ্চমানের রোধ। মনে কর, ভোল্টমিটারের মধ্য দিয়া I_v পরিমাণ প্রবাহ ঘটিতেছে এবং ভোল্ট-মিটারের রোধ G।

$$\therefore \quad I_v(R_1+G)=V_A-V_B \quad [AB\text{-র প্রান্তীয় বিভব-পার্থক্য}]$$

$$\therefore \quad I_v=\frac{1}{R_1+G}(V_A-V_B)$$

$$\therefore \quad I_v \propto (V_A-V_B).$$

দেখা যাইতেছে, I_v-র মান কম করিতে হইলে R_1-এ মান বেশী করা দরকার। একটি আদর্শ ভোল্টমিটারের রোধ অসীম হওয়া বাঞ্ছনীয়। বাস্তবে তাহা সম্ভব নহে বলিয়া উচ্চমানের রোধ ব্যবহার করা হয়। জানা ভোল্টের পাঠ লইয়া ভোল্টমিটার স্কেলটি ভোল্টে অংশাঙ্কিত করা হয়।

যে যন্ত্রের সাহায্যে কোন বর্তনীর প্রবাহমাত্রা সরাসরি অ্যাম্পিয়ারে পরিমাপ করা হয়, তাহাকে অ্যাম্মিটার বলে। ইহাও প্রকৃতপক্ষে একটি গ্যালভ্যানোমিটার, প্রবাহের পাঠ লইবার জন্য অ্যাম্মিটারকে বর্তনীতে শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত করা হয়। বিভিন্ন পাল্লার প্রবাহমাত্রা

পরিমাপের জন্য প্রয়োজনীয় সাণ্ট ইহার সহিত সমান্তরাল সমবায়ে ব্যবহার করা হয়।

তাত্ত্বিক বিচারে অ্যাম্মিটারের রোধ এমন মানের হওয়া উচিত যাহাতে পরিমেয় প্রবাহমাত্রার বিশেষ কোন হ্রাস হয় না। অর্থাৎ, একটি আদর্শ অ্যাম্মিটারের রোধ শূন্য হওয়া উচিত। বাস্তবে তাহা সম্ভব নয় বলিয়া ইহার সহিত একটি অল্পমানের রোধ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হয় যাহাতে সাণ্টযুক্ত এই গ্যালভ্যানোমিটারের তুল্যাঙ্ক রোধ খুব কম হয়। ইহার অন্য একটি দিকও আছে। বর্তনীর সমস্ত প্রবাহ গ্যালভ্যানোমিটার তথা অ্যাম্মি-টারের ভিতর দিয়া ঘটিলে, যন্ত্রটি বিনষ্ট হওয়ার আশঙ্কা থাকে।

5 19 চিত্রের বর্তনীতে একটি অ্যাম্মিটারের (Am) সংযোগ দেখান হইয়াছে। S হইল অল্প মানের একটি রোধ। অ্যাম্মিটারের রোধ G হইলে, S ও G-র তুল্যাঙ্ক রোধ R, $\frac{1}{R}=\frac{1}{G}+\frac{1}{S}$ সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়।

$\therefore \quad R=\frac{SG}{S+G}$ এবং ইহার মান S অপেক্ষাও কম। অ্যাম্মিটারের ভিতর দিয়া প্রবাহিত তড়িৎমাত্রা $I_a=\frac{S}{S+G}\cdot I$, যেখানে, I=মূল প্রবাহ। সুতরাং S এবং G-র মান নির্দিষ্ট থাকিলে, I_a, I-র একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ হইবে। অ্যাম্মিটারটি মূল প্রবাহমাত্রার মানে অংশাঙ্কিত করা হয়।

ভোল্টমিটার ও অ্যাম্মিটারের উপরোক্ত নীতি হইতে বুঝা যায় যে, একই গ্যালভ্যানোমিটারকে প্রয়োজনে ভোল্টমিটার বা অ্যাম্মিটারে ব্যবহার করা যায়। সাধারণভাবে এই উদ্দেশ্যে চল-কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারই বেশী ব্যবহার করা হয়।

উদাহরণ : (1) একটি ট্যান্‌জেণ্ট গ্যালভ্যানোমিটারের কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 12 সে. মি., পাক-সংখ্যা 50, বিক্ষেপ 45° এবং ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক অংশের মান 0·37 ওর্‌স্টেড হইলে প্রবাহমাত্রা অ্যাম্পিয়ারে বাহির কর। [C. U. '42]

উত্তর : আমরা জানি, i (অ্যাম্পিয়ার)$=10\ K \tan\theta=10\frac{H}{G}\tan\theta$

$$H=0{\cdot}37,\ G=\frac{2\pi n}{r}=\frac{2\times3{\cdot}14\times50}{12},\ \theta=45^\circ$$

$$\therefore\ i=10.\frac{0{\cdot}37\times12}{2\times3{\cdot}14\times50}\tan 45^\circ=\mathbf{0{\cdot}1414}$$ **অ্যাম্পিয়ার।**

(2) একটি গ্যালভ্যানোমিটারের ভিতর 10 দিয়া মিলি অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ যাইলে পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ হয়। গ্যালভ্যানোমিটারের রোধ 300Ω. ইহাকে 5 অ্যাম্পিয়ার পাল্লার অ্যাম্মিটারে পরিণত করিতে হইলে প্রয়োজনীয় সাণ্টের মান কত ? [Delhi, '54]

উত্তর ঃ মনে করি, প্রয়োজনীয় সাণ্ট $S\Omega$; সুতরাং

$$I_G=\frac{S}{S+G}\,I \text{ সূত্রে, } I_G=10\times10^{-3} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

$$G=300\Omega\,;\quad I=5 \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

$$\therefore\quad 10\times10^{-3}=\frac{S}{S+300}\times5$$

$$\text{বা,}\quad \cdot01S+3=5S$$

$$\therefore\quad S=\frac{3}{5-\cdot01}=\mathbf{0{\cdot}6012}\Omega.$$

(3) 10 মিলি অ্যাম্পিয়ার প্রবাহপাল্লার এবং 20 ওহ্‌ম রোধের একটি মিলি অ্যাম্মিটারকে কিরূপে 15 ভোল্ট পাল্লার ভোল্টমিটারে পরিণত করিবে ? [B. U. '65]

উত্তর ঃ যেহেতু অ্যাম্মিটারকে ভোল্টমিটারে পরিণত করিতে হইবে সেইহেতু উহার সহিত শ্রেণী-সমবায়ে একটি উচ্চ রোধযুক্ত করিতে হইবে, যাহাতে 15 ভোল্ট বিভব-পার্থক্যে যন্ত্রটি সমান্তরালে রাখিলে উহার ভিতর দিয়া সর্বোচ্চ 10 মিলি অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ ঘটে।

মনে করি, প্রয়োজনীয় উচ্চ রোধ $=R_1\Omega$;

$$\therefore\quad I_v=\frac{1}{R_1+G}\,V \text{ সূত্রে, } I_v=10\times10^{-3} \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

$$G=20\Omega\,;\quad V=15 \text{ ভোল্ট}$$

$$\therefore\quad 10\times10^{-3}=\frac{1}{R_1+20}\times15$$

$$\therefore\quad R_1=\frac{14{\cdot}8}{\cdot01}=1480$$

∴ অ্যাম্মিটারের সহিত **1480Ω** শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিতে হইবে।

প্রশ্নাবলী

1. চুম্বকের উপর তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়া পরীক্ষামূলকভাবে কিভাবে দেখাইবে? তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ ও চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ-সম্পর্কিত যে-কোন সূত্রের উল্লেখ কর।

[How do you demonstrate the action of electric current on magnet? State any law connecting the direction of the current and the direction of the field it produces at a point.]

2. নিম্নলিখিত ক্ষেত্রগুলিতে উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্রের প্রকৃতি চিত্রসহ বুঝাও।

(i) তড়িৎবাহী ঋজু পরিবাহী, (ii) তড়িৎবাহী বৃত্তাকার পরিবাহী, (iii) তড়িৎবাহী সলিনয়েড।

[Explain, with the help of diagrams, the nature of the magnetic fields produced in the following cases :

(i) a linear conductor carrying a current, (ii) a circular conductor carrying a current, (iii) a solenoid carrying a current.]

3. তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া প্রদর্শনের জন্য একটি সহজ পরীক্ষা বর্ণনা কর। লাপ্লাসের সূত্রটি বল এবং উহা হইতে প্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় এককের সংজ্ঞা বল।

[Describe a simple experiment to demonstrate the action of a magnet on a current. State Laplace's law and from it define e. m. u. of current.]

4. বার্লো-চক্রের বিবরণ দাও ও উহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

[Describe the construction of a Barlow's wheel and explain its action.]

5. তড়িৎবাহী দুইটি সুদীর্ঘ, ঋজু ও সমান্তরাল পরিবাহীর মধ্যে পারস্পরিক বলের কারণ কি? এই বল কখন আকর্ষণী বা বিকর্ষণী হয়? বলরেখার সাহায্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণের ব্যাখ্যা দাও।

[What is the cause of the mutual force acting between two very long, straight and parallel conductors carrying

currents ? When will the force be one of attraction or repulsion ? Explain the attraction or repulsion by means of magnetic lines of force.]

6. সমান্তরাল প্রবাহের সূত্র বল। রজেটের কুণ্ডলীর ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর।

[State the laws of parallel currents. Explain the action of Roget's vibrating spiral.]

7. একটি ট্যান্‌জেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের গঠন ও কার্যনীতি বর্ণনা কর। ইহাকে ট্যান্‌জেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার বলা হয় কেন ?

[Describe the construction and action of a tangent galvanometer. Why is it called a tangent galvanometer ?]

8. ডি' আরসোনভ্যাল ধরনের চল-কুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটারের গঠন বর্ণনা কর এবং ইহার চল-কুণ্ডলীর উপর প্রযুক্ত বিক্ষেপক টর্কের রাশিমালা উপপাদন কর যখন কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া i অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ ঘটে।

[C. U. '45, '48, '64, '65]

[Describe the construction of D' Arsonval type moving coil galvanometer and deduce an expression for the deflecting torque acting on its moving system when a current of i ampere flows through the coil.]

9. একটি গ্যালভ্যানোমিটারকে কিভাবে ভোল্টমিটার বা অ্যাম্মিটার হিসাবে ব্যবহার করা যায় ?

একটি অ্যাম্মিটারের রোধ 100Ω, ইহার প্রান্তে 50 মিলি ভোল্ট বিভব-পার্থক্যের জন্য পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ ঘটে। ইহাকে 5 অ্যাম্পিয়ার পাল্লার অ্যাম্মিটারে পরিণত করিতে প্রয়োজনীয় সাণ্টের মান বাহির কর।

[P. U. '54]

[How a galvanometer can be used as a voltmeter or an ammeter ?

An ammeter has a resistance of 100Ω. A difference of potential of 50 mv between the terminals gives a full scale deflection. Calculate the shunt required to convert it into an ammeter of range 5 amperes.] [Ans. 0 01000Ω.]

10. একটি 100 ভোল্ট ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ রোধ 5Ω. একটি ভোল্ট মিটারের ন্যূনতম কত রোধ থাকিলে ইহা ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল 2% ত্রুটিসহ দেখাইতে পারে ? [J. Entrance '71]

[A 100 volt battery has an internal resistance of 5Ω. What should be the minimum value of the voltmeter resistance for a given voltmeter so that it may give the value of the battery e. m. f. with 2% error ?] [Ans. 245Ω.]

11. একটি অ্যাম্মিটারের রোধ 1Ω এবং ·05 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ গেলে পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ হয়। ইহার সহিত কত সান্ট যুক্ত করিলে ইহা 100 অ্যাম্পিয়ার পর্যন্ত প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করিতে পারে ? [C. U. '34]

[An ammeter has a resistance of 1Ω and the full scale deflection is obtained when a current of 0·05 amp. flows through it. Find what shunt must be connected with it in order that the ammeter may read upto 100 amperes.]

[Ans. 0·0005Ω.]

12. একটি গ্যালভ্যানোমিটারে 50 পাক তারের কুণ্ডলীর গড় ব্যাসার্ধ 16 সে. মি.। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 0·1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎপ্রবাহে 45° বিক্ষেপ পাওয়া যায়। ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য নির্ণয় কর।

[B. U. '66]

[A galvanometer contains 50 turns of wire of mean radius 16 cm. When a current of 0·1 amp. is passed through the coils, a deflection of 45° is obtained. Calculate the horizontal intensity of earth's magnetic field at that point.]

[Ans. 0·28 oersted.]

———

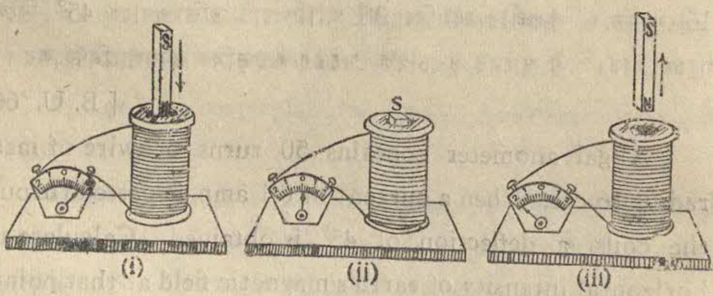
ষষ্ঠ অধ্যায়

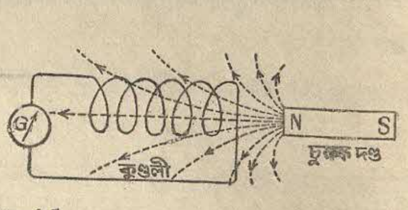
তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ (Electromagnetic Induction)

6.1. তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ (Electromagnetic induction) **:**

ওরস্টেডের পরীক্ষা হইতে জানা যায় যে, তড়িৎবাহী তার চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করিতে পারে। ইহার বিপরীত ঘটনা অর্থাৎ চৌম্বকক্ষেত্র তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করিতে পারে কিনা তাহা লইয়া বিজ্ঞানীরা পরীক্ষা শুরু করেন। 1831 খ্রীস্টাব্দে খ্যাতনামা বিজ্ঞানী **মাইকেল ফ্যারাডে** (Michael Faraday) আবিষ্কার করেন যে, **কোন আবদ্ধ কুণ্ডলীর নিকট চৌম্বকক্ষেত্রের মাত্রার হ্রাস-বৃদ্ধি করিলে কুণ্ডলীতে একটি তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়।** অর্থাৎ, তড়িৎকোষের সাহায্য ব্যতিরেকেও কুণ্ডলীতে একটি তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া সম্ভব। এই প্রকার তড়িৎপ্রবাহকে **আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ** (induced current) এবং এই ঘটনাকে **তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ** বলা হয়।

পরীক্ষা : 6.1 চিত্রে একটি কাঠের চোঙের উপর একটি অন্তরিত তামার তারের কুণ্ডলী জড়ান হইয়াছে। কুণ্ডলীর তারের প্রান্তদ্বয় একটি





চিত্র 6.1

সুবেদী গ্যালভ্যানোমিটারের সহিত যুক্ত। একটি দণ্ডচুম্বক (NS) লইয়া উহার উত্তরমেরুকে চোঙের মধ্যে প্রবেশ করাইলে গ্যালভ্যানোমিটারের কাঁটার

ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপ লক্ষ্য করা যায়। চুম্বকটিকে চোঙের ভিতর স্থির রাখিলে কাঁটার কোন বিক্ষেপ ঘটিবে না।

দণ্ডচুম্বককে অতঃপর কুণ্ডলীর ভিতর হইতে দ্রুত বাহিরে আনিলে পুনরায় কাঁটা বিক্ষিপ্ত হইবে। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, এই বিক্ষেপ পূর্বের বিক্ষেপের বিপরীত দিকে ঘটিয়াছে।

উত্তরমেরুর পরিবর্তে চুম্বকের দক্ষিণমেরু লইয়া পরীক্ষা করিলে কাঁটার অনুরূপ বিক্ষেপ ঘটিবে। তবে উত্তরমেরুর ক্ষেত্রে কাঁটা যে দিকে বিক্ষিপ্ত হয়, দক্ষিণমেরুর ক্ষেত্রে বিক্ষেপ তাহার বিপরীত দিকে ঘটে।

উভয় ক্ষেত্রেই দণ্ডচুম্বককে কুণ্ডলীর মধ্যে যে কোন স্থানে স্থির রাখিলে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়। সুতরাং এই কথা বলা যায়, **যতক্ষণ দণ্ডচুম্বক ও কুণ্ডলীর আপেক্ষিক গতি থাকিবে, ততক্ষণ তড়িৎপ্রবাহ চলিবে, আপেক্ষিক গতি না থাকিলে তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ হইবে।**

আরও লক্ষ্য করা যায়, যত দ্রুত দণ্ডচুম্বকটি কুণ্ডলীতে প্রবেশ করান হয় বা কুণ্ডলীর বাহিরে আনা যায়, গ্যালভ্যানোমিটারের কাঁটা তত বেশী পরিমাণে বিক্ষিপ্ত হয়, অর্থাৎ আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের ব্যাখ্যা : কোন চুম্বকের দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক-ক্ষেত্রে কতকগুলি বলরেখা কল্পনা করা যায়, ইহা তোমরা জান। এই চৌম্বক বলরেখাগুলি উত্তরমেরু হইতে বাহির হইয়া দক্ষিণমেরুতে প্রবেশ করে। চৌম্বকক্ষেত্রে কোন কুণ্ডলী রাখিলে বলরেখাগুলি কুণ্ডলীকে ছেদ করে— চুম্বককে কুণ্ডলীর যত কাছাকাছি আনা যায় তত বেশী সংখ্যায় বলরেখাগুলি কুণ্ডলীকে ছেদ করে। সুতরাং, **চুম্বক ও কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতির সৃষ্টি করিলে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যার বৃদ্ধি বা হ্রাস ঘটে। চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার এই পরিবর্তনের ফলে কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয়।** দেখা গিয়াছে, চুম্বক দ্রুত কুণ্ডলীতে প্রবেশ করাইলে তড়িৎপ্রবাহ বৃদ্ধি পায়। সুতরাং, আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তনের হারের উপর নির্ভরশীল। এই সমস্ত পরীক্ষালব্ধ তথ্যের সাহায্যে ফ্যারাডে দুইটি সূত্র আবিষ্কার করেন।

6.2. ফ্যারাডের সূত্র (Faraday's law of e. m u. induction) :

প্রথম সূত্র : আবদ্ধ কুণ্ডলীতে চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তন ঘটিলে কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয়।

দ্বিতীয় সূত্র : কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা কুণ্ডলী কর্তৃক অতিক্রান্ত বলরেখার পরিবর্তনের হারের সহিত সমানুপাতিক হয়।

কোন সময়ে কুণ্ডলীতে আবদ্ধ মোট চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা N এবং আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল e হইলে, ফ্যারাডের সূত্রানুযায়ী,

$$e \propto \frac{dN}{dt}$$

আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্তের নিয়ম হইতে জানা যায়। এই নিয়ম অনুযায়ী, দক্ষিণ হস্তের তর্জনী, মধ্যমা ও বৃদ্ধাঙ্গুলি পরস্পর সমকোণে সমানভাবে যদি রাখা যায় যাহাতে তর্জনী চৌম্বক বলরেখার অভিমুখ ও বৃদ্ধাঙ্গুলী পরিবাহীর গতির দিক নির্দেশ করে, তবে মধ্যমা আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ নির্দেশ করিবে।

6.3. লেঞ্জের সূত্র (Lenz's law) **:**

সকলপ্রকার তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক এমন হইবে যে, যে কারণে প্রবাহের সৃষ্টি হয়, প্রবাহ সর্বদা সেই কারণকে বাধা দিবে।

এই সূত্রানুযায়ী, চুম্বকের উত্তরমেরুর সামনে কুণ্ডলীর যে প্রান্ত থাকিবে তাহাতে উত্তরমেরুর সৃষ্টি হইবে। কেননা, আবিষ্ট উত্তরমেরু ও চুম্বকের উত্তরমেরু উভয়ের মধ্যে তখন বিকর্ষণ ঘটিবে এবং আবিষ্ট উত্তরমেরু চুম্বকের উত্তরমেরুকে কুণ্ডলীর কাছে আসিতে বাধা দিবে। কুণ্ডলীর প্রান্তে উত্তর-মেরুর সৃষ্টি হইলে তড়িৎপ্রবাহের দিক ঘড়ির কাঁটার আবর্তনের বিপরীত দিকে হইবে।

আবার চুম্বকের উত্তরমেরু কুণ্ডলী হইতে দূরে সরাইয়া লইলে লেঞ্জের সূত্রানুসারে তখন কুণ্ডলীর ঐ প্রান্তে দক্ষিণমেরুর সৃষ্টি হইবে। তখন কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের দিক ঘড়ির কাঁটার আবর্তনের দিকে হইবে। লেঞ্জের এই সূত্র তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের **তৃতীয় সূত্র** নামেও খ্যাত। কুণ্ডলীতে অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা N এবং আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল e হইলে, লেঞ্জের সূত্রের গাণিতিক রূপ হইবে,

$e \propto -\frac{dN}{dt}$. এককগুলি যদি এমনভাবে নির্বাচন করা হয় যাহাতে ভেদের ধ্রুবকটি 1 হয়, তবে, $e = -\frac{dN}{dt}$.

তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে মনে হইতে পারে যে, যেহেতু তড়িৎকোষ ছাড়াই তড়িৎ-শক্তি লাভ করা যাইতেছে, সুতরাং শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র এই ক্ষেত্রে ঘটিতেছে না। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে তাহা নহে। লেঞ্জের সূত্র হইতে পরিষ্কার বোঝা যাইতেছে, যখন কোন দণ্ডচুম্বকের একটি মেরুকে কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবেশ করান হয়, তখন আবিষ্ট সমমেরু উহাকে বাধা দেয়। যান্ত্রিক শক্তি প্রয়োগ করিয়া এই বাধা অতিক্রম করিতে হয়। আবার, কোন মেরুকে কুণ্ডলীর বাহিরে আনিলে আবিষ্ট বিষমমেরু উহাকে আকর্ষণ করে, সেখানেও বাধার বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়। প্রকৃতপক্ষে, **কুণ্ডলীতে চুম্বকের চলাচল সৃষ্টি করিবার জন্য যে যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করা হয়, তাহাই তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।** সুতরাং, তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র লঙ্ঘিত হয় না।

6.4. স্বাবেশ (Self-induction) :

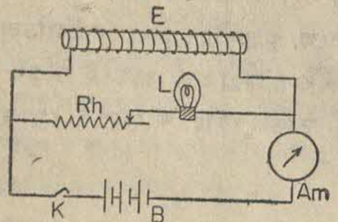
উপরের আলোচনায় দেখা যাইতেছে, যখন কোন তারের কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া তড়িৎপ্রবাহ ঘটে তখন কুণ্ডলীতে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। চৌম্বক বলরেখার হঠাৎ উপস্থিতিতে কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী বিপরীত তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয় এবং ইহা মূল প্রবাহমাত্রার বৃদ্ধিতে বাধা দেয়। বিপরীতক্রমে, কুণ্ডলীতে মূল তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ করিলে চৌম্বক বলরেখার অবলুপ্তি ঘটে, ইহাতে কুণ্ডলীতে একটি সমমুখী তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয় এবং ইহা মূল তড়িৎ-প্রবাহের অবলুপ্তিকে বাধা দেয় ও ইহাকে বিলম্বিত করে।

তড়িৎ-বর্তনীর মধ্যে তারকুণ্ডলীর এই ক্রিয়াকে **স্বাবেশ** বলে এবং যে ধর্মের জন্য ইহা তড়িৎপ্রবাহের মাত্রার পরিবর্তনকে বাধা দেয় তাহাকে **স্বাবেশ-ধর্ম** (self-inductance) বলে। এই প্রকার কুণ্ডলীকে **আবেশ কুণ্ডলী** (inductive coil) বলে।

একটি সহজ পরীক্ষার সাহায্যে কুণ্ডলীর এই স্বাবেশ-ধর্ম প্রদর্শন করা যাইতে পারে। একটি নরম লোহার মজ্জার (core) উপর কয়েক পাক অন্তরিত তামার তার জড়াইয়া একটি আবেশ কুণ্ডলী (E) তৈয়ারী করা হইল (চিত্র 6.2)। উহার সহিত শ্রেণী-সমবায়ে একটি ব্যাটারী B, চাবি K এবং একটি অ্যাম্মিটার Am যুক্ত করা হইল। কুণ্ডলীর সমান্তরালে একটি পরিবর্তনীয় রোধ Rh এবং একটি বাতি L যুক্ত করা হইল। Rh-এর মান পরিবর্তন করিয়া এমন রাখা হইল যাহাতে বাতিটি ক্ষীণ হইয়া জ্বলিতে থাকে। এখন চাবি টিপিয়া বর্তনী সংহত করিলে দেখা যাইবে অ্যাম্মিটারের পাঠ ধীরে ধীরে

বাড়িতেছে, অ্যাম্মিটার একেবারে স্থির প্রবাহমাত্রা প্রদর্শন করিতেছে না। ইহার কারণ, কুণ্ডলীর স্বাবেশের জন্য বিপরীত তড়িচ্চালক বল প্রবাহমাত্রার বৃদ্ধিকে বাধা দেয়।

সহসা চাবি ছাড়িয়া দিয়া মূল প্রবাহমাত্রা বন্ধ করিলে দেখা যাইবে অ্যাম্মিটারের পাঠ হঠাৎ শূন্যে নামিয়া আসিতেছে না। বাতি লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে, পূর্বাপেক্ষা বেশী ঔজ্জ্বল্য লইয়া ক্ষণিকের জন্য বাতিটি জ্বলিয়া উঠিল।



চিত্র 6.2

ইহার কারণ, মূল তড়িৎপ্রবাহ বন্ধ হইয়া গেলেও কুণ্ডলীর স্বাবেশের জন্য ক্ষণস্থায়ী সমমুখী তড়িচ্চালক বল বাতিকে প্রবাহ দান করে এবং ইহারই কারণে অ্যাম্মিটারের পাঠ শূন্যমানে পৌছাইতে বিলম্বিত হয়। এখন আবার চাবি টিপিয়া মূলবর্তনী সংহত করিলে বাতিটি হঠাৎ জ্বলিয়া উঠিবে, তবে পূর্বাপেক্ষা কম ঔজ্জ্বল্য লইয়া। ইহাতে বুঝা যায়, বর্তনী সংহত হইবার সময় অপেক্ষা বর্তনী ছিন্ন হইবার সময় আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মাত্রা বেশী হয়।

6.5. স্বাবেশ-গুণাঙ্ক (Co-efficient of self-induction or self-inductance) **:**

মনে কর কোন কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট স্বকীয় বলরেখার সংখ্যা অর্থাৎ চৌম্বকপ্রবাহ N এবং কুণ্ডলীর ভিতর প্রবাহমাত্রা i, সেইক্ষেত্রে, $N \propto i$ বা, $N=Li$. L একটি ধ্রুবরাশি এবং ইহাকে কুণ্ডলীর স্বাবেশ-গুণাঙ্ক বলে।

$L=\frac{N}{i}$ এবং $i=1$ হইলে, $L=N$, অর্থাৎ **কোন কুণ্ডলীর ভিতর একক মাত্রার প্রবাহ চলিলে উহার সহিত যত সংখ্যক চৌম্বক বলরেখা যুক্ত হয়, তাহাকে ঐ কুণ্ডলীর স্বাবেশ গুণাঙ্ক বলে।**

আবার, লেঞ্জের সূত্র হইতে, $e=-\frac{dN}{dt}=-L\frac{di}{dt}$

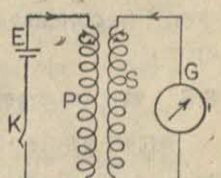
$\therefore\ L=-\frac{e}{\frac{di}{dt}}$, $\frac{di}{dt}=1$ হইলে, $L=-e$. এই সম্পর্ক হইতে L-এর একটি বিকল্প সংজ্ঞা পাওয়া যায়।

কোন কুণ্ডলীতে একক হারে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হইলে কুণ্ডলীতে যে পরিমাণ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে তাহাকে ঐ কুণ্ডলীর স্বাবেশ-গুণাঙ্কের সাংখ্যমান বলা হয়।

$\frac{di}{dt}=1$ অ্যাম্পিয়ার/সেকেণ্ড এবং $e=1$ ভোল্ট হইলে $L=1$ হেনরী (henry) বলা হয়। ইহাই স্বাবেশ-গুণাঙ্কের ব্যবহারিক একক। হেনরী অনেক বড় একক বলিয়া মিলি-হেনরী (milli-henry, 10^{-3} henry) এবং মাইক্রো-হেনরী (micro-henry, 10^{-6} henry) একক হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

6.6. পারস্পরিক আবেশ (Mutual induction) :

দুইটি তারকুণ্ডলী পাশাপাশি রাখিয়া একটির মধ্যে তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তন ঘটাইলে অন্য কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন ঘটে, ইহাতে দ্বিতীয় কুণ্ডলীটিতে একটি ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, ইহাকে পারস্পরিক আবেশ বলা হয়। 6.3 চিত্রে ব্যাটারী E হইতে একটি কুণ্ডলী P-তে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করা হইতেছে। ইহাতে সংশ্লিষ্ট S কুণ্ডলীতে সহসা তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হইবে এবং গ্যালভ্যানোমিটার G-তে ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপ দেখা যাইবে। লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে, S কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ P কুণ্ডলীতে প্রবাহের অভিমুখের বিপরীত। হঠাৎ চাবি ছাড়িয়া P বর্তনীতে প্রবাহ ছিন্ন করিলেও S বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ দেখা যাইবে, তবে এই ক্ষেত্রে প্রবাহের অভিমুখ পূর্বের অভিমুখের বিপরীতে। প্রবাহ চালু বা বন্ধ করা ছাড়াও P বর্তনীতে যখনই প্রবাহের কোন পরিবর্তন ঘটিবে, তখনই S বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ ঘটিবে।



চিত্র 6.3

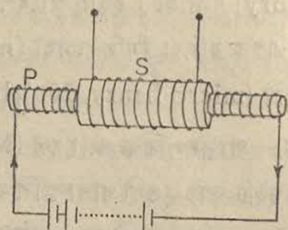
P কুণ্ডলীতে i প্রবাহমাত্রার জন্য S কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা N হইলে, $N \propto i$ বা, $N=Mi$, এখানে M একটি ধ্রুবরাশি, ইহাকে উভয় কুণ্ডলীর **পারস্পরিক আবেশ-গুণাঙ্ক** (co-efficient of mutual induction) বলে।

আবার, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল e হইলে, $e=-\frac{dN}{dt}=-M\frac{di}{dt}$.

সুতরাং $\frac{di}{dt}=1$ হইলে, $M=-e$,

অর্থাৎ, কোন কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা একক হারে পরিবর্তিত হইলে সংশ্লিষ্ট দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে যে পরিমাণ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল উদ্ভূত হয়, তাহাই উভয় কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ-গুণাঙ্কের পরিমাণ। স্বাবেশ-গুণাঙ্কের মত পারস্পরিক আবেশ-গুণাঙ্কের ব্যবহারিক এককও হেনরী।

ব্যবহারিক ক্ষেত্রে, একটি কুণ্ডলীর মধ্য অঞ্চলে ঐ কুণ্ডলীকে বেষ্টন করিয়া অপর একটি কুণ্ডলী জড়ানো হয় এবং প্রথমটিতে প্রবাহ চালু করিয়া দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি করা হয়। 6.4 চিত্রে P এবং S এইরূপ দুইটি সমাক্ষীয় (co-axial) সলিনয়েড। P-কে **মুখ্যকুণ্ডলী** (primary coil) এবং S-কে **গৌণ-কুণ্ডলী** (secondary coil) বলা হয়। উহারা পরস্পর অন্তরিত অবস্থায় থাকে।



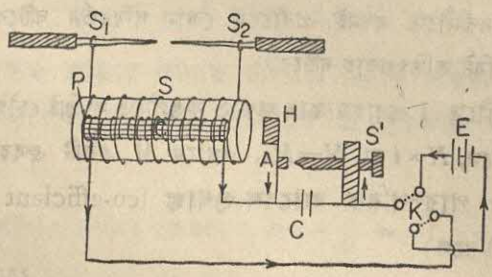
চিত্র 6.4

6.6. আবেশ-কুণ্ডলী (Induction coil) :

আবেশ-কুণ্ডলীর কার্যনীতি পারস্পরিক আবেশের উপর প্রতিষ্ঠিত। ইহার সাহায্যে নিম্নমানের ভোল্ট হইতে অতি উচ্চমানের ভোল্ট সৃষ্টি করিতে পারা যায়। সাধারণতঃ উচ্চমানের ভোল্ট সৃষ্টি করিবার জন্য বিজ্ঞানী রুম্‌কর্ফ-উদ্ভাবিত আবেশ-কুণ্ডলী ব্যবহার করা হয়। নীচে ইহার গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা করা হইল।

রুম্‌কর্ফের আবেশ-কুণ্ডলী (Ruhmkorff's induction coil) :

6.5. চিত্রে রুম্‌কর্ফের আবেশ-কুণ্ডলীর প্রয়োজনীয় অংশগুলি দেখান



চিত্র 6.5

হইয়াছে। এই যন্ত্রে একটি নরম লোহার মজ্জার (C) উপর কতকগুলি

অন্তরিত তামার তার জড়াইয়া মুখ্য-কুণ্ডলী (P) তৈয়ারী করা হয়। একটি দ্বিমুখী চাবি K-র সাহায্যে ব্যাটারী E হইতে মুখকুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করা হয়। মুখ্যকুণ্ডলীর সমাক্ষীয় অপর একটি অন্তরক চোঙের উপর সরু তামার তার জড়াইয়া গৌণকুণ্ডলী (S) নির্মাণ করা হয়। মুখ্য-কুণ্ডলীর তুলনায় গৌণকুণ্ডলীতে পাকের সংখ্যা অনেক বেশী থাকে। ইহাতে গৌণকুণ্ডলীতে অতি উচ্চমানের তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। গৌণ-কুণ্ডলীর প্রান্তদ্বয় দুইটি মোক্ষণ-দণ্ডের (S_1, S_2) সহিত যুক্ত। S_1, S_2-র ভিতরকার দূরত্ব প্রয়োজনানুযায়ী কমানো বা বাড়ানো যাইতে পারে।

$S'-H$ অংশের স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থার সাহায্যে মুখ্যকুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা দ্রুত চালু বা বন্ধ করা যায়। S'-স্ক্রুটি H-হাতুড়ি-সমন্বিত একটি আর্মেচার (A)-কে স্পর্শ করিয়া থাকে, ইহাতে তড়িৎ-বর্তনী সম্পূর্ণ হইয়া মুখ্যকুণ্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটে এবং গৌণকুণ্ডলীতে পারস্পরিক আবেশের দরুণ উচ্চ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। তড়িৎপ্রবাহের কারণে C মজ্জা চৌম্বকধর্ম লাভ করে এবং H-কে আকর্ষণ করিয়া S' ও আর্মেচারের সংযোগ ছিন্ন করে। ইহাতে তড়িৎপ্রবাহ ছিন্ন হয় এবং প্রবাহমাত্রা অতি দ্রুত হ্রাস পাইতে থাকায় গৌণ-কুণ্ডলীতে প্রবল তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। এইভাবে প্রতিবার তড়িৎ-বর্তনী পূর্ণ বা ছিন্ন হইলে গৌণকুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়, কিন্তু তড়িৎ-বর্তনী ছিন্ন হওয়ার কালে বলের মাত্রা তুলনামূলকভাবে অনেক বেশী হইয়া থাকে। প্রকৃতপক্ষে, তড়িৎ-বর্তনী পূর্ণ হওয়ার সময়ে যে তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয় তাহা S_1 এবং S_2-র মধ্যবর্তী বায়ু বা গ্যাসে তড়িৎ-মোক্ষণ সৃষ্টি করিতে পারে না। সুতরাং, তড়িৎ-বর্তনী ছিন্ন হওয়ার কালেই আমরা গৌণকুণ্ডলীতে উচ্চ তড়িচ্চালক বল পাইয়া থাকি। ফলে গৌণকুণ্ডলীতে আমরা একমুখী উচ্চমাত্রার তড়িৎপ্রবাহ পাই। C ধারকটি S' এবং আর্মেচারের মধ্যে স্ফুলিঙ্গ (spark) সৃষ্টিতে বাধা দেয় এবং গৌণকুণ্ডলীর আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বৃদ্ধি করিতে সাহায্য করে।

আবেশ-কুণ্ডলীতে সৃষ্ট এই উচ্চমানের তড়িচ্চালক বলকে ক্যাথোড রশ্মি, এক্স-রশ্মি উৎপাদনের কাজে লাগান হয়। গ্যাস ইঞ্জিনে স্পার্ক-প্লাগের সাহায্যে গ্যাসে আগুন জ্বালাইবার জন্য যে উচ্চ বিভব-পার্থক্য দরকার হয় তাহা এই ধরনের আবেশ-কুণ্ডলীর সহায়তায় উৎপন্ন করা হয়।

প্রশ্নাবলী

1. তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ ও আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ কাহাকে বলে? একটি চুম্বক ও একটি তড়িৎবাহী বর্তনী দ্বারা আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করিবার পরীক্ষাগুলি বর্ণনা কর।

[What do you understand by electro-magnetic induction and induced current? Describe experiments to show the production of such currents (a) by a magnet, (b) by a current.]

2. তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ-সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্রগুলি বল এবং ব্যাখ্যা কর। লেঞ্জ সূত্র কী? কোন চুম্বকের উত্তরমেরু কোন কুণ্ডলীর নিকটে আনিলে কুণ্ডলীতে যে প্রবাহ আবিষ্ট হইবে তাহার অভিমুখ লেঞ্জের সূত্র হইতে কিরূপে পাওয়া যায়?

শক্তির সংরক্ষণ সূত্র হইতে কিরূপে লেঞ্জ সূত্র দ্বারা পাওয়া যায় ব্যাখ্যা কর।

[State Faraday's laws of electro-magnetic induction and explain them. What is Lenz's law? Apply Lenz's law to find the direction of induced current in a coil, when the north pole of a magnet is brought near it.

Show how Lenz's law can be derived from the principle of conservation of energy.]

3. স্বাবেশ ও পারস্পরিক আবেশ কাহাকে বলে? স্বাবেশ প্রদর্শন করা যায় এমন একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

স্বাবেশ-গুণাঙ্কের ব্যবহারিক একক কি? ইহার সংজ্ঞা নির্দেশ কর।

[What are self and mutual inductions? Describe an experiment to demonstrate self-induction.

What is the practical unit of co-efficient of self-induction? Define it.]

4. রুম্‌কর্ফ আবেশ-কুণ্ডলীর গঠন ও কার্যপ্রণালী সংক্ষেপে বল।

[State briefly the construction and action of Ruhmkorff's induction coil.]

———

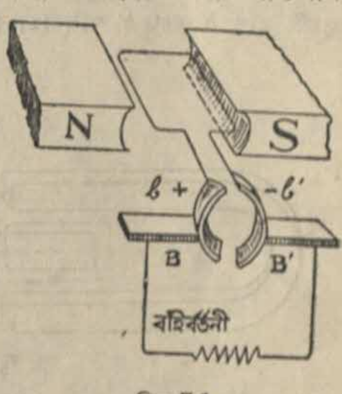
সপ্তম অধ্যায়

মোটর ও ডায়নামো (Motors and Dynamoes)

7.1. বৈদ্যুতিক মোটর (Electric motor) :

চৌম্বকক্ষেত্রে কোন তড়িৎবাহী পরিবাহী রাখিলে উহার উপর একটি বল প্রযুক্ত হয়। চৌম্বকক্ষেত্রে বার্লোর চক্রের ঘূর্ণন আমরা চল-তড়িতের পঞ্চম অধ্যায়ে আলোচনা করিয়াছি। বার্লো-চক্রের নীতিকে কাজে লাগাইয়া বৈদ্যুতিক মোটর নির্মিত হইয়াছে। এই মোটরের সাহায্যে পাখা, গাড়ী, কল, পাম্প ইত্যাদি চালানো হয়। মোটরে তড়িৎ-শক্তির বিনিময়ে যান্ত্রিক-শক্তি পাওয়া যায়।

মোটরে একটি ঘূর্ণনক্ষম তারের কুণ্ডলী বা আর্মেচারকে একটি শক্তিশালী চুম্বকের (*NS*) দুই মেরুর মধ্যে রাখা হয়। এই ধরনের চুম্বককে ক্ষেত্রচুম্বক (field magnet) বলে। কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত দুইটি ধাতব বা কার্বন-নির্মিত ব্রাশের মাধ্যমে দুইটি অর্ধবলয় (*A* ও *B*)-কে স্পর্শ করিয়া থাকে। শ্রেণী-সমবায়ে সজ্জিত একাধিক কোষ বা মেইন লাইনের সাহায্যে কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করিলে আর্মেচারটি উহার অক্ষের চারিদিকে ঘুরিবে।



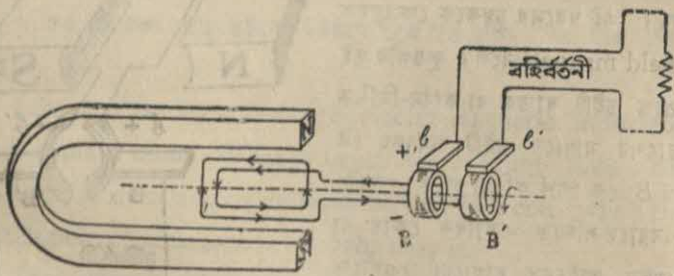
চিত্র 7.1

ঘূর্ণন-অক্ষের সমান্তরাল কুণ্ডলীর দুই বিপরীত বাহুতে তড়িৎপ্রবাহ বিপরীতমুখে এবং এই প্রবাহ চৌম্বকক্ষেত্রে অবস্থিত বলিয়া প্রত্যেকটি বাহু একটি বল অনুভব করিবে। ফ্লেমিং-এর বামহস্তের নিয়ম অনুযায়ী একটি বাহু ঊর্ধ্বমুখী এবং অপর বাহু নিম্নমুখী বল অনুভব করে। এই উভয় বলের সমন্বয়ে সমগ্র কুণ্ডলী উহার অক্ষের চারিপাশে ঘুরিয়া যাইবে। ইহাতে ব্রাশ দুইটি বলয় বিনিময় করে এবং ফলে কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টাইয়া যায়। কিন্তু কুণ্ডলীও 180° ঘুরিয়া যাওয়ায় বাহুদ্বয় পরস্পর স্থান পরিবর্তন করে। ফলে, কুণ্ডলী আবার একই দিকে ঘুরিতে থাকে। প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি করিলে ঘূর্ণনের বেগ বৃদ্ধি পায়। আর্মেচারের এই ঘূর্ণনকেই ব্যবহারিক কাজে লাগান হয়।

7.2. ডায়নামো ও ইহার নীতি (Dynamo and its principle) :

তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের ফলে তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়—এই নীতিকে কার্যকরী করিয়া ডায়নামো গঠন করা হয়। ডায়নামোর নীতি মোটরের নীতির ঠিক বিপরীত অর্থাৎ, যান্ত্রিক-শক্তির বিনিময়ে তড়িৎ-শক্তি উৎপন্ন করা হয়।

এই যন্ত্রে একটি শক্তিশালী ক্ষেত্রচুম্বক (*NS*)-এর দুই মেরুর মধ্যে নরম লোহার উপর জড়ানো আয়তাকার একটি তারের কুণ্ডলী রাখা হয় (চিত্র 7.2)। মোটরের সাহায্যে এই আর্মেচার বা কুণ্ডলীটিকে ঘোরান হয়, ফলে আর্মেচারের ভিতর দিয়া অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা সর্বদা পরিবর্তিত হয়। ইহাতে আর্মেচারে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। আর্মেচারের দুই প্রান্ত দুইটি ধাতব স্লিপ-রিং B ও B'-এর সঙ্গে যুক্ত থাকে। স্লিপ-রিং-এর সহিত কার্বন-নির্মিত দুইটি ব্রাশ b এবং b' আল্‌গাভাবে আটকানো থাকে। বহির্বর্তনী এই ব্রাশ

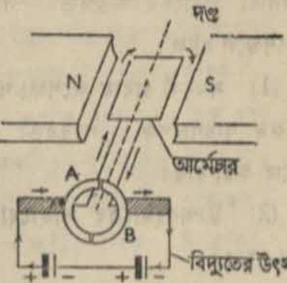


চিত্র 7.2

দুইটির সহিত যুক্ত। বাহির হইতে কোন মোটরের সহায়তায় আর্মেচারটি ঘুরাইলে তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের নিয়মে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ ঘটে এবং এই তড়িৎ ব্রাশ দুইটির মধ্য দিয়া বহির্বর্তনীতে প্রবাহিত হয়। তড়িৎ-প্রবাহের এই দিক কুণ্ডলীর তল ও চৌম্বক বলরেখার তলের উপর নির্ভর করে। কুণ্ডলীর অর্ধেক আবর্তনে বহির্বর্তনীতে তড়িৎ যে দিকে প্রবাহিত হয়, বাকী অর্ধেক আবর্তনে বহির্বর্তনীতে তড়িৎ তাহার বিপরীত দিকে প্রবাহিত হয়। এই তড়িৎপ্রবাহকে **পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ** (Alternating current) বলে। এই যন্ত্রে পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয় বলিয়া ইহাকে **এ. সি. ডায়নামো** (A. C. Dynamo) বলা হয়।

একমুখী তড়িৎপ্রবাহ (Direct current) সৃষ্টির জন্য যে ডায়নামো ব্যবহার করা হয় তাহাকে **ডি. সি. ডায়নামো** (D. C. Dynamo) বলে।

ইহার গঠনপ্রণালী অনেকটা এ. সি. ডায়নামোর মত (চিত্র 7.3)। একমাত্র তফাৎ হইল, ইহাতে কম্যুটেটরের (commutator) সাহায্যে বহির্বর্তনীর পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী করা হয়। এখানে আর্মেচারের দুই প্রান্ত স্লিপ-রিং-এর পরিবর্তে দুইটি অর্ধবৃত্তাকার তামার পাতের (A, B) সঙ্গে যুক্ত থাকে। এই দুইটি তামার পাতকে একত্রে কম্যুটেটর বলে। ইহা আর্মেচারের সঙ্গে ঘুরিতে পারে। কম্যুটেটরের গায়ে দুইটি ব্রাশ আল্‌গাভাবে আটকানো থাকে ব্রাশ দুইটি বহির্বর্তনীর সহিত যুক্ত। কম্যুটেটর ও কুণ্ডলীর অক্ষ একই সমতলে থাকে। আর্মেচারের আবর্তনে আর্মেচারে পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়। কিন্তু ব্রাশ দুইটি এমনভাবে কম্যুটেটরের সংলগ্ন থাকে যাহাতে কুণ্ডলীতে পরিবর্তী প্রবাহের সৃষ্টি হওয়ামাত্র ব্রাশ দুইটি কম্যুটেটরের পাত বদলায়। ফলে, বহির্বর্তনীতে পরিবর্তী প্রবাহের পরিবর্তে একমুখী প্রবাহের সৃষ্টি হয়।



চিত্র 7.3

উপরোক্ত দুই ক্ষেত্রেই চৌম্বকক্ষেত্রে কুণ্ডলীকে ঘোরাইয়া আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি করা হয়। স্থির কুণ্ডলীর নিকট একটি চুম্বক ঘোরাইয়াও আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করা যায়। বাইসাইকেলে যে ডায়নামো ব্যবহার করা হয় তাহা দ্বিতীয় পদ্ধতি অনুসারে গঠন করা হয়।

বিস্তৃতক্ষেত্রে তড়িৎ-সরবরাহের কাজে ডায়নামোর আর্মেচারকে স্টীম টারবাইন ইত্যাদির সাহায্যে ঘোরান হয়।

7.3. পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ (Alternating current):

ডায়নামোর কার্যনীতি আলোচনাকালে আমরা দেখিয়াছি, আর্মেচার-কুণ্ডলীর একবার পূর্ণ আবর্তনে তড়িৎপ্রবাহ বিপরীত দিকে ঘটিয়া থাকে। চৌম্বক বলরেখার সহিত কুণ্ডলীর তলের কৌণিক অবস্থান যখন 0° হইতে 180° পর্যন্ত, তখন আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ একদিকে এবং 180° হইতে 360° পর্যন্ত এই প্রবাহের অভিমুখ পূর্ব প্রবাহের বিপরীত দিকে ঘটিয়া থাকে। ফলে বহির্বর্তনীতে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি করিবার জন্য যে রোধক ব্যবহার করা হয়, কুণ্ডলীর আবর্তনের অর্ধপর্যায়কাল ব্যাপিয়া তাহার একপ্রান্ত ধনাত্মক মেরু এবং অপর প্রান্ত ঋণাত্মক মেরু হিসাবে কাজ করে। বাকী অর্ধপর্যায়কালে

মেরুদ্বয় স্থান পরিবর্তন করে। এই প্রকার প্রবাহকে পরিবর্তী প্রবাহ বলে। সাধারণ কোষ হইতে আমরা যে তড়িৎপ্রবাহ পাই, তাহা সমমুখী। পরিবর্তী প্রবাহকে উপযুক্ত যন্ত্রের সাহায্যে (যেমন ডায়োড ভাল্‌ভ) সমমুখী প্রবাহে রূপান্তরিত করা যায়।

বর্তমান পৃথিবীতে ব্যবহৃত তড়িৎক্ষমতার প্রায় শতকরা 90 ভাগই পরিবর্তী প্রবাহের অন্তর্গত। পরিবর্তী প্রবাহের এত ব্যাপক প্রচলনের কারণগুলি হইল :

(1) সমমুখী প্রবাহ অপেক্ষা পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টি করিবার ব্যবস্থা সহজতর ও কম ব্যয়সাপেক্ষ। পরিবর্তী প্রবাহ-সৃষ্টিকারী যন্ত্রপাতির রক্ষণাবেক্ষণও সহজে করা যায়।

(2) ট্রান্সফরমারের সাহায্যে বিস্তৃত ভোল্টপাল্লার পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টি করা সম্ভব।

(3) পরিবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে প্রবাহমাত্রা সহজে চোক (choke) বা ধারকের সাহায্যে হ্রাস করা যাইতে পারে; ইহাতে শক্তিক্ষয় খুব সামান্যই হয়। কিন্তু রোধকের সাহায্যে সমমুখী প্রবাহমাত্রার হ্রাস ঘটাইলে জুলের নীতি অনুযায়ী অনেক বেশী পরিমাণে তড়িৎ-শক্তির অপচয় হইয়া থাকে।

(4) প্রয়োজনানুযায়ী পরিবর্তী প্রবাহকে সমমুখী প্রবাহে পরিণত করা যায়। কিন্তু বিপরীত প্রক্রিয়া সম্ভব নয়।

সমমুখী প্রবাহ অপেক্ষা পরিবর্তী প্রবাহের অবশ্য কতকগুলি সীমাবদ্ধতা ও অসুবিধাও আছে। যেমন, ডি. সি. অপেক্ষা এ. সি. অধিকতর বিপজ্জনক। ডি. সি. লাইনে অসাবধানতাবশতঃ শারীরিক স্পর্শ ঘটিলে উহা বিকর্ষণ ঘটাইতে চায়, কিন্তু এ. সি.-তে আকর্ষণ ঘটে। ইলেকট্রোপ্লেটিং, ইলেকট্রোটাইপিং, কষ্টিক সোডা উৎপাদন ইত্যাদি বহুবিধ কাজে এ. সি. একেবারেই ব্যবহার করা যায় না। সেক্ষেত্রে ডি. সি.-ই একমাত্র ভরসা।

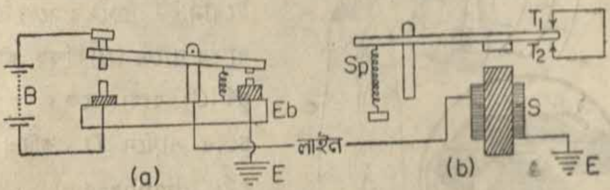
7.4. টেলিগ্রাফ (Telegraph) :

টেলিগ্রাফ এমন একটি তড়িৎ-যান্ত্রিক ব্যবস্থা যাহার সাহায্যে কতকগুলি কোডের (codes) মাধ্যমে খবরা-খবর আদানপ্রদান করা হয়। প্রচলিত কোডটির নাম মর্স কোড (Morse Code)। ইহা কতকগুলি ড্যাশ ও ডটের (dashes and dots) সমন্বয়। যেমন $A=.—$, $B=—\cdots$ ইত্যাদি। দীর্ঘতর এবং স্বল্পতর সময় ব্যাপিয়া তড়িৎ-বর্তনী পূর্ণ ও ছিন্ন করিয়া এই সংকেত সৃষ্টি করা হয়।

7.4. চিত্রে মর্সের টেলিগ্রাফ ব্যবস্থা দেখানো হইল। ইহার (a)-অংশটি প্রেরকযন্ত্র বা মর্স-কী (Morse key) এবং (b)-অংশ গ্রাহকযন্ত্র বা মর্স সাউণ্ডার (Morse sounder)।

প্রেরকযন্ত্রে একটি ব্যাটারী B-র সাহায্যে তড়িৎ-বর্তনী করা আছে। ইবোনাইট দণ্ডের (Eb) উপরের চাবি টিপিয়া ধরিলে তড়িৎ-বর্তনী সম্পূর্ণ হয় এবং বর্তনীতে প্রবাহ ঘটে। চাবি ছাড়িয়া দিলে বর্তনী ছিন্ন হয় এবং তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ হয়। বর্তনী পূর্ণ বা ছিন্ন করিবার স্থায়িত্ব কোড অনুযায়ী করা হয়, ইহাতে সবিরাম (intermittent) প্রবাহ লাইনের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয়।

গ্রাহকযন্ত্রে S একটি তড়িৎ-চুম্বক, ইহার একপ্রান্ত লাইনের সহিত এবং অপর প্রান্ত পৃথিবীর সহিত যুক্ত। ইহার উপরে একটি নরম লোহার আর্মেচার একটি লিভারের সহিত আটকানো থাকে। S_p স্প্রিং-এর টানে ইহা সাধারণত দুইটি স্পর্শক স্ক্রু T_1 এবং T_2-র মধ্যে T_1-কে স্পর্শ করিয়া থাকে। S তড়িৎ-



চিত্র 7.4

চুম্বকটির মধ্যে প্রবাহ ঘটিলে উহা চুম্বক-আকর্ষণে আর্মেচারটিকে নীচের দিকে টানে, ইহাতে আর্মেচারটি T_2 স্ক্রুকে আঘাত করিয়া শব্দ করে। S-এর ভিতর প্রেরকযন্ত্র হইতে সবিরাম প্রবাহ আসিলে ইহা তদনুযায়ী চৌম্বকধর্ম লাভ করে এবং আর্মেচারকে আকর্ষণ করিয়া শব্দ করে। শব্দের স্থায়িত্ব প্রেরকযন্ত্রের বর্তনী পূর্ণ বা ছিন্ন করিবার সময়কাল অনুযায়ী ঘটে। কোড হইতে যথাযথ শব্দগুলি উদ্ধার করা হয়। বর্তমানে উন্নততর ব্যবস্থায় ইঙ্ক-রাইটারের (ink-writer) সাহায্যে চলমান ফিতায় কোডগুলি লেখা হয় এবং প্রয়োজনে সরাসরি খবরটি টাইপ করাও যায়।

7.5. টেলিফোন (Telephone) :

টেলিফোন যন্ত্রেও তড়িৎ-চুম্বক ও তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের প্রয়োগ ঘটানো হয়। 1844 খ্রীষ্টাব্দে অধ্যাপক মর্স টেলিগ্রাফ যন্ত্র আবিষ্কার করেন। এই যন্ত্রের সাহায্যে সাংকেতিক শব্দের মাধ্যমে সংবাদ পাঠানো সম্ভব হইল। এই যন্ত্রের আবিষ্কারের পর সরাসরি কথাবার্তা বলিবার জন্য কোন যান্ত্রিক

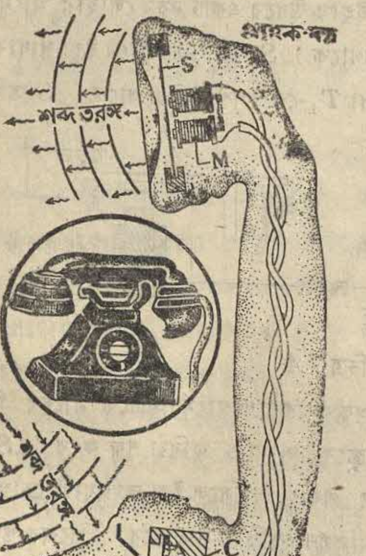
ব্যবস্থা আবিষ্কার করা যায় কি না, এই বিষয়ে বিজ্ঞানীরা কৌতূহলী হন। ইহার ফলে 1876 খ্রীষ্টাব্দে **আলেকজাণ্ডার গ্রাহাম বেল** (Alexander Graham Bell) কর্তৃক টেলিফোন আবিষ্কৃত হয়।

এই যন্ত্রের প্রধান তিনটি অংশ হইল (*a*) প্রেরকযন্ত্র, (*b*) গ্রাহকযন্ত্র এবং (*c*) লাইন-তার।

বর্তমানে যে টেলিফোন যন্ত্র ব্যবহৃত হয়, তাহা বেল টেলিফোনের নীতিতে কাজ করিলেও ইহার গঠন-প্রণালী অনেক উন্নত।

গঠন-প্রণালী (Principle of construction) :

(*i*) **প্রেরকযন্ত্র :** 7.5 চিত্রে একটি টেলিফোন যন্ত্র ও তাহার প্রস্থচ্ছেদ দেখানো হইয়াছে। ইহার নীচের অংশের নাম প্রেরকযন্ত্র—ইহার সামনে কথা বলা হয়। ইহাতে ইবোনাইট ফ্রেমের মধ্যে একটি ধাতব পাত্রে (B) কিছু কার্বন-চূর্ণ (C) রাখা থাকে। কার্বন-চূর্ণের সামনে D একটি ধাতব পর্দা (diaphragm)। কোন তড়িৎবাহী তারের (W) দুই প্রান্তের এক প্রান্তে ধাতব পর্দা ও অন্য প্রান্ত কার্বন-পেটিকার (B) গাত্রের সহিত যুক্ত থাকে। ধাতব পর্দার সামনের চোঙাকৃতি অংশের নাম মাউথ-পিস (mouth piece)। ইহার কাজ শব্দ তরঙ্গকে ঘনীভূত করা।



চিত্র 7.5

(*ii*) **গ্রাহকযন্ত্র :** 7.5 চিত্রের উপরদিকের অংশের নাম গ্রাহকযন্ত্র। গ্রাহকযন্ত্রে একটি তড়িৎ-চুম্বক (M) থাকে। ইহার সামনে S একটি পাতলা ইস্পাতের পর্দা। তড়িৎ-চুম্বকের তারের প্রান্তদ্বয়ও প্রেরকযন্ত্রের সঙ্গে একই তড়িৎ-বর্তনীতে যুক্ত।

কার্য-প্রণালী : টেলিফোন-বর্তনীর সাহায্যে এক্সচেঞ্জ অফিস (exchange office)-এর মাধ্যমে কিংবা স্বয়ংক্রিয় (automatic) ব্যবস্থায় দুইটি স্টেশনের মধ্যে সংযোগ স্থাপন করা হয়। মাউথ-পিসের সামনে কোন কথা বলিলে প্রেরকযন্ত্রের ডায়ফ্রামের কম্পন সৃষ্টি হয় এবং এই কম্পনের ফলে কার্বন-চূর্ণগুলির উপর চাপের তারতম্য ঘটে। ফলে, কার্বন-পেটিকার রোধের হ্রাস-বৃদ্ধি হয় এবং তখন ইহার মধ্যে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রারও বৃদ্ধি বা হ্রাস ঘটে। বর্তনীর তার দিয়া এই তড়িৎপ্রবাহ গ্রাহকযন্ত্রে পৌছায় এবং সেখানে তড়িৎক্রিয়ায় তড়িৎ-চুম্বকের শক্তির হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে। ফলে, গ্রাহক-যন্ত্রে ইস্পাত-নির্মিত ডায়ফ্রামে (*S*) প্রেরকযন্ত্রের ডায়ফ্রামের অনুরূপ কম্পন সৃষ্টি হয় এবং গ্রাহকযন্ত্রে প্রেরকের উচ্চারিত শব্দগুলি যথাযথভাবে ধ্বনিত হয়।

কার্বন-পেটিকার রোধের যে তারতম্যের কারণে বিচলিত প্রবাহ পাওয়া যায় তহাতে গ্রাহকযন্ত্রে শব্দের পুনরাবৃত্তি ঘটে। কার্বন-পেটিকার এই ক্রিয়াকে **কার্বন মাইক্রোফোন** (carbon microphone) ব্যবস্থা বলা হয়।

প্রশ্নাবলী

1. বৈদ্যুতিক মোটরের কার্য-প্রণালী একটি চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা কর।

[Describe the working principle of an electric motor with the aid of a diagram.]

2. এ. সি. এবং ডি. সি. ডায়নামোর বর্ণনা দিয়া উহাদের কার্য-প্রণালী বল। পরিবর্তী প্রবাহ কাহাকে বলে ? সমমুখী প্রবাহের তুলনায় ইহার সুবিধা-অসুবিধা বর্ণনা কর।

[Describe A. C. and D. C. Dynamoes and explain their actions. What is an alternating current ? State its advantages and disadvantages in comparison with direct current.]

3. টেলিগ্রাফ-পদ্ধতিতে খবর আদান-প্রদান কিভাবে হয় বর্ণনা কর।

[Describe how messages can be transmitted with the help of the telegraphic system.]

4. টেলিফোন-যন্ত্র বর্ণনা কর এবং ইহার কার্য-প্রণালীর বর্ণনা দাও।

[Describe a telephone and explain its working principle.]

আধুনিক পদার্থ-বিজ্ঞান (Modern Physics)

প্রথম অধ্যায়

গ্যাসে তড়িৎপ্রবাহ
(Conduction of Electricity Through Gases)

1.1. সূচনা (Introduction) :

তোমরা জান, সাধারণ চাপে ও তাপমাত্রায় কোন গ্যাসই তড়িৎ-সুপরিবাহী নয়। যেমন, সাধারণ শুষ্ক বায়ু একটি উত্তম তড়িৎ-অন্তরক—নতুবা স্থির তড়িৎ-বিজ্ঞানের কোন পরীক্ষাই কার্যত সফল হইত না।

কিন্তু কয়েকটি বিশেষ অবস্থায় ও প্রক্রিয়ায় গ্যাসকে তড়িৎ-পরিবাহী করা যায়। সাধারণ চাপে ও তাপে বায়ুতে রক্ষিত দুইটি পরিবাহীর মধ্যে উচ্চ বিভব-প্রভেদ থাকিলে পরিবাহী দুইটির ভিতর সরাসরি স্পার্ক (spark) চলে। তাহা ছাড়া, গ্যাসের ভিতর দিয়া অতি-বেগুনী রশ্মি (ultra-violet rays), এক্স-রশ্মি (X-rays) তেজস্ক্রিয় আল্‌ফা, বিটা ও গ্যামা-রশ্মি (α, β, γ-rays) প্রেরণ করিলে বা গ্যাসকে উত্তপ্ত করিলে গ্যাস তড়িৎ-পরিবাহী হইয়া পড়ে। নিম্নচাপের গ্যাসে তড়িৎ-মোক্ষণ (electric discharge) প্রক্রিয়ায় গ্যাস তড়িৎ-পরিবাহী হইয়া উঠে।

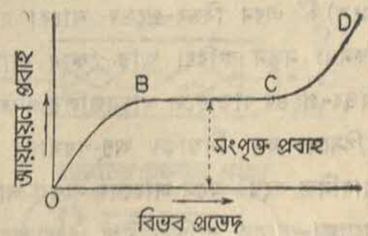
1.2. সাধারণ চাপে গ্যাসের তড়িৎ-পরিবাহিতা (Electrical conductivity of gases at normal pressure) :

সাধারণ চাপে উপরোক্ত প্রক্রিয়াসমূহের সাহায্যে গ্যাসে তড়িৎ-পরিবাহিতার মূল কারণ হইল নিস্তড়িৎ গ্যাসীয় অণুগুলি শক্তিশালী রশ্মি বা তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রভাবে ক্রমশঃ আয়নিত হইয়া পড়ে। নিস্তড়িৎ অণু বা পরমাণু হইতে যদি এক বা একাধিক ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন করা যায়, তবে ঐ অণুগুলি ধনাত্মক আয়নের সৃষ্টি করে। ঐ মুক্ত ইলেকট্রন কোন নিস্তড়িৎ অণুর সঙ্গে যুক্ত হইলে ঋণাত্মক আয়নের সৃষ্টি করে। আয়ন সৃষ্টির এই প্রণালীর নাম **আয়নয়ন** (ionisation)। শক্তিশালী রশ্মি বা তীব্র তড়িৎ-মোক্ষণ নিস্তড়িৎ অণু বা পরমাণুর মধ্যে শক্তি সঞ্চার করে এবং সেই শক্তির প্রভাবেই কোন কোন পরমাণু হইতে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হইয়া পড়ে। নতুবা সাধারণ অবস্থায় ইলেকট্রনগুলি কেন্দ্রকের (nucleus) ধনাত্মক তড়িৎ দ্বারা দৃঢ়ভাবে কক্ষপথে আবদ্ধ থাকে।

কোন আয়নিত গ্যাসের মধ্যে দুইটি তড়িৎ-দ্বার প্রবেশ করাইয়া উহাদের মধ্যে উপযুক্ত বিভব-প্রভেদ সৃষ্টি করিলে গ্যাসের ধনাত্মক আয়ন ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারের দিকে এবং ঋণাত্মক আয়ন ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারের দিকে আকৃষ্ট হয়। ইহাতে গ্যাসের ভিতর তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি হয়। এই তড়িৎপ্রবাহকে **আয়নয়ন প্রবাহ** (ionisation current) বলে। আয়নিত অণুর সংখ্যা খুব বেশী না হওয়ায়, আয়নয়ন প্রবাহ পরিমাণে খুব ক্ষীণ হয়।

1.2a. বিভব-প্রভেদ ও আয়নয়ন প্রবাহের মধ্যে সম্পর্ক (Relation between potential difference and ionisation current) :

কোন আয়নিত গ্যাসের মধ্যে দুইটি ধাতব পরিবাহী প্রবেশ করাইয়া ইহাদের দুইটি তড়িৎ-দ্বারের সঙ্গে সংযুক্ত করিলে পরিবাহী দুইটিতে বিভব-প্রভেদের পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে আয়নয়ন প্রবাহের পরিমাণ কি-ভাবে পরিবর্তিত হয়, তাহা এখন পর্যালোচনা করা যাক্।



চিত্র 1.1

তড়িৎ-বর্তনীতে কোন স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণ বা তড়িৎ-মিটার (electro-meter) যন্ত্র বসাইয়া আয়নয়ন প্রবাহের মাত্রা পরিমাপ করা যায়। পরিবাহী দুইটিতে বিভব-প্রভেদ ধীরে ধীরে বৃদ্ধি করিলে আনুষঙ্গিক আয়নয়ন-প্রবাহের পরিবর্তন লেখচিত্রের (চিত্র 1.1) সাহায্যে প্রকাশ করা যায়।

লেখচিত্র (চিত্র 1.1)-টি পর্যালোচনা করিলে দেখা যাইবে যে, কম বিভব-প্রভেদ থাকিলে আয়নয়ন প্রবাহ খুব ক্ষীণ হয় এবং বিভব-প্রভেদ সামান্য বর্ধিত করিলে প্রবাহ সমানুপাতিকভাবে বৃদ্ধি পায় (কারণ চিত্রে OB অংশ প্রায় ঋজু রেখা) ; অর্থাৎ, OB অংশে আয়নয়ন প্রবাহ ওহ্‌মের সূত্রানুসারে সংঘটিত হয়। ইহার পর বিভব-প্রভেদ আরও বৃদ্ধি করিলে প্রবাহ-বৃদ্ধির হার কিছুটা কমিয়া যায়। BC অংশে বিভব-প্রভেদ বৃদ্ধি সত্ত্বেও প্রবাহ বৃদ্ধি পায় না—প্রবাহ স্থির হইয়া পড়ে। এই প্রবাহকে **সংপৃক্ত প্রবাহ** (saturation current) বলে। C বিন্দুর পর প্রবাহ-বৃদ্ধি খুব দ্রুত হারে ঘটে এবং পরিবাহী দুইটির মধ্যে তখন সরাসরি স্পার্ক চলিতে দেখা যায়। লেখচিত্রে CD অংশ

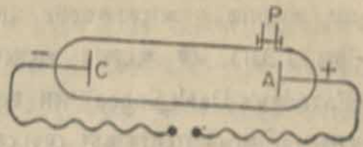
এই অবস্থা নির্দেশ করিতেছে। যে বিভব-প্রভেদে এই অবস্থা সুরু হয়, তাহাকে **স্পার্কিং বিভব** (sparking potential) বলে।

এখন, বিভব-প্রভেদ বৃদ্ধির সঙ্গে আয়নয়ন প্রবাহ-বৃদ্ধির তারতম্যের বিভিন্ন অবস্থাগুলি আলোচনা করা যাক্। প্রথম অবস্থায় বিভব-প্রভেদ কম থাকিলে আয়নগুলি কম বেগে পারস্পরিক পরিবাহীর দিকে আকৃষ্ট হয়। পথিমধ্যে অধিকাংশই পুনঃ-সংযোজনার(recombination) ফলে নিস্তড়িৎ অণু-পরমাণুতে রূপান্তরিত হইয়া পড়ে—ফলে খুব কম সংখ্যক আয়নই পরিবাহীতে পৌছায় এবং আয়ন-প্রবাহও কম হয়। বিভব-প্রভেদ বাড়াইলে অধিক সংখ্যায় আয়ন পরিবাহীতে পৌছায় এবং প্রবাহও সমানুপাতিক হারে বৃদ্ধি পায় (OB অংশ)। এইভাবে বিভব-প্রভেদ বৃদ্ধি করিতে থাকিলে এমন এক অবস্থা আসে যখন আয়নয়নকারী শক্তি প্রতি সেকেণ্ডে যে কয়টি আয়ন সৃষ্টি করে তাহার সব কয়টিই পরিবাহীতে পৌছায়। এই অবস্থাই সংপৃক্ত-প্রবাহ নির্দেশ করে (BC অংশ)। এখন বিভব-প্রভেদ আরো বাড়াইলেও প্রবাহ একই থাকিবে—কেননা নতুন করিয়া আর কোন আয়ন সৃষ্টি হইতেছে না। ইহার পরও বিভব-প্রভেদ বাড়াইলে আয়নগুলির গতিবেগ এতই বাড়িয়া যায় যে, তাহারা পথিমধ্যে বহু নিস্তড়িৎ অণু-পরমাণুর সহিত সংঘাত করিয়া উহাদেরও আয়নিত করে—ফলে আয়নের সংখ্যা আয়নয়নকারী কর্তৃক সৃষ্ট আয়ন-সংখ্যা অপেক্ষা অনেক বাড়িয়া যায় এবং প্রবাহমাত্রাও খুব বৃদ্ধি পায় (CD অংশ)। এই অবস্থায় পরিবাহী দুইটিতে বিভব-প্রভেদ খুব বৃদ্ধি পাওয়ায় গ্যাস অণুগুলির উপর অত্যধিক বৈদ্যুতিক পীড়নে (electrical stress) গ্যাসের অন্তরণ (insulation) ভাঙিয়া পড়ে। তখন পরিবাহী দুইটির মধ্যস্থিত মাধ্যম (পরিবাহী গ্যাস) দিয়া সরাসরি তড়িৎপ্রবাহের ফলে স্পার্ক দেখা যায়।

1.3. নিম্নচাপের গ্যাসের তড়িৎ-পরিবাহিতা (Electrical conductivity of gases at low pressure) :

সাধারণ চাপে বায়ু বা কোন গ্যাস তড়িতের অপরিবাহী, কিন্তু বায়ুর চাপ ক্রমশঃ কমাইলে ইহার তড়িৎ-পরিবাহিতা একটু একটু করিয়া বাড়িতে থাকে। এই সময় দুইটি ধাতব পরিবাহীর মধ্যে তড়িৎ-মোক্ষণ (electric discharge) ঘটে এবং চাপের তারতম্যের সঙ্গে নানারকমের অবস্থার উদ্ভব হয়। একটি তড়িৎ-মোক্ষণ নলের (discharge tube) সাহায্যে এই সকল অবস্থা পর্যবেক্ষণ করা যায়।

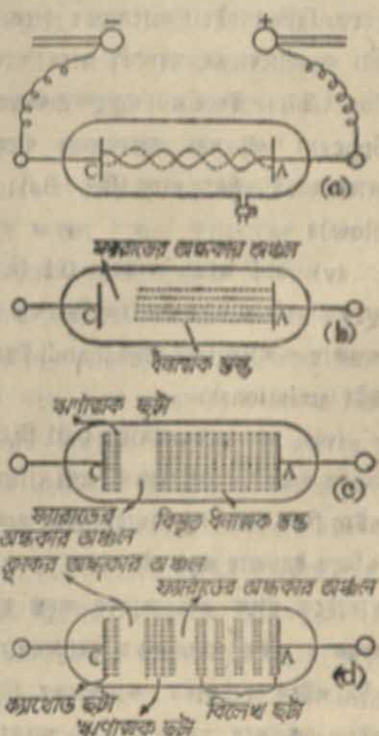
তড়িৎ-মোক্ষণ নল—একটি দুইমুখ বন্ধ শক্ত কাচের নল, লম্বায় প্রায় 30 সে.মি. ও ব্যাস প্রায় 4 সে.মি। ইহার দুইপ্রান্তে দুইটি ধাতব তড়িৎ-দ্বার (C ও A) থাকে (চিত্র 1.2) এইগুলি কোন উচ্চক্ষমতা-সম্পন্ন তড়িৎ-বর্তনীর সঙ্গে যুক্ত থাকে। নলের গায়ে একটি ছিদ্রের মুখে একটি স্টপ্-কক্ (stop-cock) লাগানো থাকে। ঐ ছিদ্রের সহিত একটি বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প যুক্ত করা হয়। পাম্পটি চালাইয়া নলের ভিতরের বায়ুর চাপ কমানো যায়। চাপ ধীরে ধীরে কমাইয়া তড়িৎ-মোক্ষণ চালাইলে নিম্নলিখিত ঘটনাগুলি পর পর ঘটিতে দেখা যায়।



চিত্র 1.2

(i) গ্যাসের চাপ কমাইয়া 10 সে. মি. পারদের চাপের সমান করিলে নলের ভিতর বিদ্যুৎ চমকানোর মত আঁকা-বাঁকা আলোর রেখা দেখা যাইবে এবং সেইসঙ্গে চিড়িৎ চিড়িৎ শব্দ শোনা যাইবে (চিত্র 1.3*a*)।

(ii) চাপ আরও কমাইয়া 1 সে. মি. পারদস্তম্ভের চাপের সমান করিলে পূর্বেকার আলোর রেখাগুলি চওড়া হইয়া অ্যানোড A হইতে ক্যাথোড C পর্যন্ত একটি আলোকস্তম্ভের আকার ধারণ করে এবং একটি একটানা চিড়্ চিড়্ শব্দ শোনা যায় (চিত্র 1.3*b*)। এই আলোক-স্তম্ভের নাম ধনাত্মক স্তম্ভ (positive column)। গ্যাসের প্রকৃতির উপর ধনাত্মক স্তম্ভের আলোকের বর্ণনির্ভর করে। বায়ুর ক্ষেত্রে এই আলোকস্তম্ভের রঙ্ অনেকটা লাল্‌চে ধরনের।



চিত্র 1.3

(iii) চাপ কমাইয়া 3 বা 4 মি.মি. পারদের চাপের সমান করিলে উপরোক্ত আলোকস্তম্ভটি সঙ্কুচিত হইয়া ক্যাথোড হইতে কিছু দূরে সরিয়া যায় এবং ক্যাথোড ও আলোকস্তম্ভের মাঝে কিছুটা স্থান অন্ধকার হইয়া পড়ে (চিত্র 1.3*b*)। এই অন্ধকার অংশকে **ফ্যারাডের অন্ধকার অঞ্চল** (Faraday's Dark Space) বলা হয়। এই সময় ক্যাথোডের গায়ে একটা হাল্‌কা নীলাভ আলোকচ্ছটা দেখা দেয় (চিত্র 1.3*c*)। ইহা **ঋণাত্মক ছটা** (negative glow)।

(iv) চাপ কমাইয়া প্রায় 1 মি.মি. পারদের চাপের সমান করিলে ধনাত্মক স্তম্ভের দৈর্ঘ্য আরও ছোট হইয়া পড়ে এবং ফ্যারাডের অন্ধকার অঞ্চল সেই স্থান দখল করে। চাপ আরও কমাইতে থাকিলে ঋণাত্মক ছটা ক্যাথোড হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া অ্যানোডের দিকে কিছুটা আগাইয়া যায় এবং ঋণাত্মক ছটা ও ক্যাথোডের মধ্যবর্তী স্থানে আর একটি অন্ধকার অংশের সৃষ্টি হয় (চিত্র 1.3*d*)। ইহার নাম **ক্রুকের অন্ধকার অঞ্চল** (Crooke's Dark Space)। এই সময় ক্যাথোডের গায়ে অবশ্য আগের মতই নীলাভ আলোকচ্ছটা বর্তমান থাকে (চিত্র 1.3*d*)। ইহা **ক্যাথোড ছটা** (cathode glow)।

(v) চাপ আরও কমাইয়া 0·1 মি.মি. পারদের চাপের সমান করিলে ক্রুকের অন্ধকার অঞ্চল দৈর্ঘ্যে বাড়িয়া যায় এবং ধনাত্মক স্তম্ভ ভাঙিয়া পর্যায়ক্রমে অন্ধকার ও আলোকিত পটির (band) উদ্ভব হয় (চিত্র 1.3*d*)। ইহা **বিলেখ ছটা** (striations)।

(vi) চাপ আরও কমাইয়া 0.01 মি.মি. পারদের চাপের সমান করিলে ক্রুকের অন্ধকার অঞ্চল আরও দৈর্ঘ্যে বাড়িয়া যায় এবং ঋণাত্মক ছটা বিলেখ-ছটার দিকে বেশ কিছু আগাইয়া যায়। ফলে, বিলেখ ছটার পটির সংখ্যা কমিতে কমিতে ইহা প্রায় অদৃশ্য হইয়া যায়। অবশেষে ঋণাত্মক ছটাও ইহার ঔজ্জ্বল্য হারাইতে থাকে এবং তাহাও অদৃশ্য হইয়া যায়। তখন একমাত্র ক্রুকের অন্ধকার অঞ্চল সমস্ত নল জুড়িয়া অবস্থান করে এবং এই অবস্থায় একটি নতুন ঘটনা ঘটিতে দেখা যায়। ক্যাথোডের বিপরীত-দিকে নলের কাচের গাত্র হইতে একপ্রকার সবুজ বা নীল আলোর ছটা বাহির হইতে থাকে। এই ঘটনার নাম **প্রতিপ্রভা** (Fluorescence)। ইহা কাচের সংযুক্তির (composition) উপর নির্ভর করে। এই সময় ক্যাথোড হইতে ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত এক সম্পূর্ণ নূতন ও অদৃশ্য রশ্মিকণা নির্গত হইয়া অ্যানোডের দিকে

ধাবিত হইয়া অ্যানোডের চতুষ্পার্শস্থ নলের উপর ধাক্কা খায় ও প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে। এই রশ্মিগুলির নাম **ক্যাথোড-রশ্মি** (Cathode rays)। নলের ভিতরের চাপ আরও অনেক কমাইলে ইহার রোধশক্তি বাড়িয়া এমন এক অবস্থায় পৌঁছে, যখন ইহার মধ্য দিয়া আর কোন তড়িৎ-মোক্ষণ সম্ভব হয় না।

1.3a. কমচাপে তড়িৎ-মোক্ষণে উদ্ভূত ঘটনাসমূহের ব্যাখ্যা (Explanation of the phenomena in low pressure discharge) :

তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে মোক্ষণ-নলের অভ্যন্তরে কিছু গ্যাসীয় অণু আয়নিত হইয়া পড়ে ; ফলে, নলে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক উভয় প্রকার আয়নের সৃষ্টি হয়। তোমরা জান, এই আয়ন-সৃষ্টির মূলে থাকে, নিস্তড়িৎ গ্যাসীয় অণু হইতে বিচ্ছিন্ন ঋণাত্মক তড়িৎসম্পন্ন ইলেকট্রন-কণা। ইহারাই মোক্ষণ-নলে উদ্ভূত ঘটনাসমূহের জন্য দায়ী। ইলেকট্রনমুক্ত গ্যাসীয় অণুগুলি ধনাত্মক আয়নের সৃষ্টি করে। তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে এবং নলের ভিতর চাপ কম থাকার জন্য এই ইলেকট্রনগুলির কোন তড়িৎ-নিরপেক্ষ অণুর সঙ্গে যুক্ত হওয়ার পূর্বেই অনেকটা আগাইয়া যায়। কোন অণুর সঙ্গে ধাক্কা খাওয়ার পূর্বে ইহারা যে পথ অতিক্রম করে তাহা অন্ধকার থাকে এবং ইহাকেই **ক্রুকের অন্ধকার অঞ্চল** বলে। ক্যাথোডের কাছে ধনাত্মক আয়নগুলি আকর্ষিত হয় এবং ইলেকট্রনগুলি প্রবলভাবে বিকর্ষিত হয়—সেইজন্য ক্যাথোডের কাছে এক তীব্র বিভব-বৈষম্যের সৃষ্টি হয় এবং ইহার প্রভাবেই ক্যাথোড-ছটার সৃষ্টি হয়। ধনাত্মক আয়নগুলি ক্যাথোডে ধাক্কা দিয়া আরো অধিকমাত্রায় ইলেকট্রন মুক্ত করে। এই ইলেকট্রন ও গ্যাসীয় অণু হইতে মুক্ত ইলেকট্রন ক্যাথোড কর্তৃক বিকর্ষিত হইয়া ক্রুকের অন্ধকার অঞ্চলের মধ্য দিয়া দ্রুতবেগে আগাইয়া চলে এবং পথিমধ্যে তড়িৎ-নিরপেক্ষ গ্যাসীয় অণুর সঙ্গে ধাক্কা খাইয়া তাহাদের আয়নিত করে। এই ধাক্কার ফলে অণুগুলি উত্তেজিত হইয়া আলো বিকিরণ করে ; ইহাতে ঋণাত্মক ছটার সৃষ্টি হয়।

ধাক্কা হইতে সৃষ্ট ভারী ধনাত্মক আয়নগুলি ইলেকট্রনের গতিকে মন্থর করিয়া দেওয়ার ফলে, ইলেকট্রনগুলি সাময়িকভাবে গ্যাসীয় অণুগুলিকে আয়নিত করার ক্ষমতা হারায় এবং আলো বিকিরণও সাময়িকভাবে বন্ধ হয়। তখন ফ্যারাডের অন্ধকার অঞ্চল সৃষ্টি হয়। কিন্তু নলের ভিতর তড়িৎক্ষেত্রের দরুন পুনরায় ইলেকট্রনগুলির গতি ত্বরান্বিত হয় এবং ইহারা ফ্যারাডের অন্ধকার অঞ্চলের মধ্য দিয়া কিছুদূর গিয়া পুনরায় গ্যাসীয় অণুগুলির সঙ্গে ধাক্কা খাইয়া ইহাদের আয়নিত করে। ফলে, পুনরায় অণুগুলি

উত্তেজিত হইয়া আলো বিকিরণ করে এবং তখনই ধনাত্মক স্তম্ভের উদ্ভব হয়। আয়নিত গ্যাসীয় অণুগুলি হইতে পুনরায় ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নের সৃষ্টি হয় এবং ভারী ধনাত্মক আয়নগুলি আবার আগের মতই ইলেকট্রনগুলির গতিকে বাধা দেয়। ফলে পুনরায় ইলেকট্রনগুলির আয়নিত করিবার ক্ষমতা কমিয়া যায় এবং ধনাত্মক স্তম্ভে আর একটি অন্ধকার অংশের সৃষ্টি হয়। ইহাই **বিলেখছটা**। এইভাবে ধনাত্মক স্তম্ভে পর্যায়ক্রমে অন্ধকার ও আলোকিত পটির উদ্ভব হয়।

ইলেকট্রনগুলি ধাক্কা না খাইয়া যতদূর অগ্রসর হইতে পারে, তাহার উপর নলের ভিতর অন্ধকার অংশের দৈর্ঘ্য নির্ভর করে। এই দূরত্বকে ইলেকট্রনের **গড়মুক্ত পথ** (mean-free path) বলে। নলের ভিতরের চাপ যত কমে, এই দূরত্ব তত বাড়িতে থাকে। চাপ কমিতে কমিতে ইহা এমন এক অবস্থা আসে, যখন এই গড়মুক্ত পথ নলের দৈর্ঘ্য অপেক্ষা বেশী হইয়া পড়ে। তখন আর ইলেকট্রনগুলির পরস্পরের সহিত ধাক্কা খাওয়ার সম্ভাবনা থাকে না। ইহার ফলে, নল হইতে আর কোন আলো বিকিরণ হইতে পারে না এবং সম্পূর্ণ নলটি অন্ধকার হইয়া পড়ে। এই অবস্থায় নলের মধ্য দিয়া আর কোন তড়িৎ-মোক্ষণ হয় না।

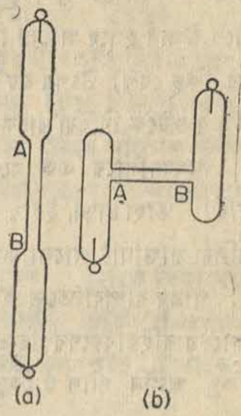
1.3b. নিম্নচাপে তড়িৎ-মোক্ষণের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical application of low pressure discharge) **:**

নিম্নচাপে তড়িৎ-মোক্ষণের একাধিক ব্যবহারিক প্রয়োগ রহিয়াছে। ইহাদের অধিকাংশই উজ্জ্বল আলো সৃষ্টি করে এবং আলোক-সজ্জা ও বিজ্ঞাপন প্রভৃতিতে কাজে লাগে। ইহাদের কয়েকটি নিম্নে আলোচিত হইল।

(i) **গাইস্‌লার নল বা নিয়ন সাইন** (Geissler tube or Neon sign) **:**

আলোকসজ্জা ও বিজ্ঞাপনের উদ্দেশ্যে সরু কাচের নলকে বিজ্ঞাপন অনুযায়ী বাঁকাইয়া ইহার দুই প্রান্তে দুইটি তড়িৎ-দ্বার ঢুকাইয়া সীল করা হয়। নলকে বায়ুশূন্য করিয়া ইহার ভিতরে প্রায় 5 মি.মি. পারদস্তম্ভের চাপে নিয়ন-গ্যাস ভর্তি করা হয়। এখন তড়িৎ-দ্বারে উচ্চ বিভব-প্রভেদ (প্রায় 15000 ভোল্ট) প্রয়োগ করিলে নলের ভিতর দিয়া আয়ন-প্রবাহের সৃষ্টি হইবে এবং নিয়ন-গ্যাসের ধনাত্মক স্তম্ভে উজ্জ্বল লালবর্ণের আলো সৃষ্টি হইবে। এইরূপ নলকে **গাইস্‌লার নল** বা **নিয়ন সাইন** বলা হয়। নলের ভিতর বিভিন্ন গ্যাসের সংমিশ্রণে নানারঙের আলো সৃষ্টি করা যায়।

বিভিন্ন গ্যাসের বর্ণালী বিশ্লেষণের জন্যও গাইসলার নল ব্যবহৃত হয়। ইহাদের তখন **প্লাকার নল** (Plucker tube) বলে। ইহারা সাধারণতঃ দুই আকারের হয় [চিত্র 1.4(a), (b)]। প্রথমটির দুই প্রান্ত মোটা এবং মধ্যভাগের খানিকটা অংশ (AB) সরু থাকে (চিত্র 1.4a)। দ্বিতীয়টি অনেকটা H অক্ষরের মত। ইহারও মধ্যভাগ (AB অংশ) সরু। উভয়প্রকার নলের দুইপ্রান্তে দুইটি তড়িৎ-দ্বার যুক্ত থাকে। যে গ্যাসের বর্ণালী বিশ্লেষণ করিতে হইবে, তাহা দ্বারা নলটি এমনভাবে পূর্ণ করা হয়, যাহাতে গ্যাসের চাপ প্রায় 2 মি. মি. পারদস্তম্ভের চাপের বেশী না হয়। এখন তড়িৎ-দ্বারে উচ্চ বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিলে নলে তড়িৎ-মোক্ষণ সুরু হইবে এবং ধনাত্মক স্তম্ভে গ্যাসের বৈশিষ্ট্যমূলক আলোক থাকিবে। নলের সরু অংশে (AB) প্রবাহ-ঘনত্ব বেশী হইবে—ফলে ঐ স্থানের ধনাত্মক স্তম্ভের আলোক বেশী উজ্জ্বল হইবে এবং বর্ণালী পর্যবেক্ষণের পক্ষে বেশী উপযুক্ত হইবে।



চিত্র 1.4

(ii) **সোডিয়াম ও পারদ বাষ্পবাতি** (Sodium and Mercury vapour lamps) :

এক বর্ণের (monochromatic) আলো তৈয়ারী করিতে সোডিয়াম বাষ্পবাতি ব্যবহৃত হয়। ইহা একটি উল্টানো U আকৃতির তড়িৎ-মোক্ষণ নল। ইহার দুইপ্রান্তে দুইটি তড়িৎ-দ্বার (P, P) সীল করিয়া আবদ্ধ করা থাকে (চিত্র 1.5)। ইহার ভিতর নিম্নচাপে কিছু নিয়ন-গ্যাস ও নলের ভিতরের দেওয়ালের বিভিন্ন জায়গায় কিছু কিছু সোডিয়াম ধাতু লাগানো থাকে। ইহার ভিতর তড়িৎ-মোক্ষণ শুরু করিতে প্রথমে প্রায় 400 ভোল্ট ($A. C.$) বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিতে হয়; পরে অবশ্য 220 ভোল্টেই ইহা কার্যকরী থাকে। প্রথমোক্ত বিভব-প্রভেদ একটি আরোহী রূপান্তরকের (step-up-transformer) সাহায্যে তৈয়ারী করা হয়। প্রথমে নিয়ন-গ্যাসে

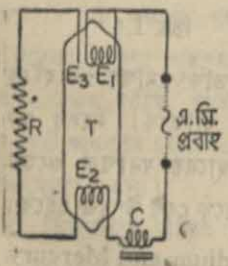


চিত্র 1.5

হয় এবং আলো লাল্চে রঙের হয়। পরে উষ্ণতা বাড়িলে সোডিয়াম ধাতু তড়িৎ-মোক্ষণ শুরু বাষ্পীভূত হইয়া আয়নিত হইতে সুরু করে এবং তখন ধীরে ধীরে উজ্জ্বল হল্দে আলো নির্গত হয়। এই বাতিতে উচ্চ তাপমাত্রা (300°C এর কিছু বেশী) উৎপন্ন হয় বলিয়া একটি তাপ-অন্তরক বায়ুশূন্য কাচের জ্যাকেট (V) কুণ্ডটিকে ঘিরিয়া থাকে।

গবেষণাগারে এক বর্ণের আলোর জন্য এই বাতির বহুল ব্যবহার দেখা যায়। তাহা ছাড়া, ইহার কর্মক্ষমতা সাধারণ বাতি অপেক্ষা অনেকগুণ বেশী বলিয়া রাস্তাঘাট আলোকিত করিতে এই বাতির প্রচলন খুবই বাড়িয়াছে।

পারদ বাষ্পবাতিতে কাচের লম্বা একটি তড়িৎ-মোক্ষণ নল (T) অন্য একটি কাচের বহিরাবরণের ভিতর খাড়াভাবে থাকে (চিত্র 1.6)। ইহার ভিতর কিছু আর্গন গ্যাস ও কিছু পারদ রাখা থাকে। সোডিয়াম বাষ্পবাতির ন্যায় ইহাতেও প্রথমে আর্গন-গ্যাসে তড়িৎ-মোক্ষণ সুরু হয় এবং উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে পারদ বাষ্পীভূত হইয়া তড়িৎ-মোক্ষণে অংশগ্রহণ করে। ইহার দুইটি তড়িৎ-দ্বার (E_1, E_2) 220 ভোল্টেই কার্যকরী থাকে —তবে সুইচ টিপিলেই তড়িৎ-দ্বার দুইটি সঙ্গে সঙ্গে যথেষ্ট উত্তপ্ত হয় না বলিয়া সঙ্গে সঙ্গে তড়িৎ-মোক্ষণ সুরু হয় না। এইজন্য একটি সহায়ক তড়িৎ-দ্বার E_3- প্রথম তড়িৎ-দ্বার E_1-এর খুব কাছে থাকে এবং ইহা একটি রোধের (R) মাধ্যমে তড়িৎ-দ্বার E_2-এর সহিত সংযুক্ত। সুইচ টিপিলেই প্রথমে E_1 ও E_3-এর ভিতর তড়িৎ-মোক্ষণ শুরু হয় এবং E_1 ও E_2-এর উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইতে থাকে। অবশেষে E_1 ও E_2-তে তড়িৎ-মোক্ষণ শুরু হয়। একটি নিরোধক (choke, C) ব্যবহার করিয়া ইহার ভিতর তড়িৎপ্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করা হয়। ইহা হইতে নীলাভ-বেগুনি আলো নির্গত হয় এবং সুইচ টিপিবার কয়েক মিনিট পরে এই বাতি সর্বাধিক উজ্জ্বলতাপ্রাপ্ত হয়। রাস্তাঘাট আলোকিত করিতে এই বাতিরও আজকাল বহুল প্রচলন হইয়াছে।



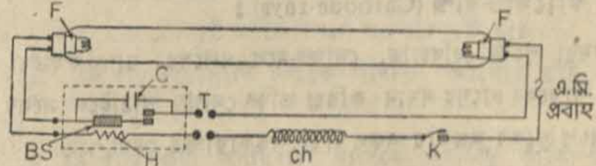
চিত্র 1.6

(iii) **ফ্লোরেসেন্ট বাতি** (Fluorescent lamp) **:**

সাধারণতঃ 2 ফুট বা 4 ফুট দীর্ঘ ও 1.5 ইঞ্চি ব্যাসের কাচনল দ্বারা ফ্লোরেসেন্ট বাতি বা টিউব লাইট তৈয়ারী হয়। নলের ভিতরের দেওয়ালে ফ্লোরেসেন্ট পদার্থের (ক্যাড্মিয়াম বোরেট বা জিঙ্ক সিলিকেট ইত্যাদি) প্রলেপ দেওয়া থাকে। ইহার ভিতরের বাতাস বাহির করিয়া ইহার ভিতর সামান্য

আরগন, নাইট্রোজেন ও পারদ ভরিয়া দেওয়া হয়। ভিতরের চাপ প্রায় 1 মি. মি. পারদস্তম্ভের সমান থাকে। নলের দুইপ্রান্তে দুইটি কুণ্ডলীকৃত টাংগ্‌স্টেন তারের (ফিলামেন্টের) মধ্যে তড়িৎ-মোক্ষণ ঘটানো হয়। ইহাদের গায়ে বেরিয়াম অক্সাইডের প্রলেপ থাকে এবং ইহা প্রচুর ইলেকট্রন নির্গত করে। আরগন ও নাইট্রোজেন গ্যাস প্রভৃতি প্রথমে আয়নিত হইয়া টিউবকে সক্রিয় করে। পরে পারদ-বাষ্পের ভিতর তড়িৎ-মোক্ষণ হইয়া উজ্জ্বল আলোক উৎপন্ন হয়। এই আলোক ফ্লোরেসেন্ট প্রলেপের ভিতর দিয়া নানা বর্ণের আলোরূপে প্রতিভাত হয়।

চিত্রে (চিত্র 1.7) এইরূপ একটি বাতি দেখানো হইল। ইহাতে ফিলামেন্ট দুইটি (F, F)-র সহিত শ্রেণী-সমবায়ে একটি তাপীয় সুইচ (thermal starter) T, একটি নিরোধক (choke) Ch ও একটি মূল সুইচ K থাকে।



চিত্র 1.7

ইহা সাধারণতঃ এ. সি. লাইনে ব্যবহৃত হয়। তাপীয় সুইচে একটি দ্বিধাতব পাত (bi-metallic strip, $B.S.$), একটি উত্তাপক তার H ও একটি ধারক C থাকে। ইহারা একত্রে একটি আধারে রাখা থাকে।

এখন সুইচ K টিপিলে ফিলামেন্টদ্বয়ের মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহ হয় এবং ইহা হইতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। ইহারা আরগন গ্যাসকে আয়নিত করে। একই সঙ্গে উত্তাপক তার H দ্বিধাতব পাতকে উত্তপ্ত করিয়া বাঁকাইয়া দেয়। ফলে, ইহা লাইনের সংযোগ কাটিয়া দেয়। ইহাতে ফিলামেন্টের প্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়। এই সময় ধারক, C সংযোগ-স্থলের দুই প্রান্তকে স্পার্কের হাত হইতে রক্ষা করে। হঠাৎ প্রবাহ বন্ধ হইয়া যাওয়ায় নিরোধক ইহার কুণ্ডলীর নিজস্ব আবেশের দরুণ ফিলামেন্টে একটি বিরুদ্ধ তড়িচ্চালক বল (counter e. m. f.) প্রয়োগ করে। ইহাতে পারদবাষ্প আয়নিত হইয়া পড়ে এবং ক্রমশঃ অধিক সংখ্যায় আয়ন সৃষ্টি হইতে থাকে। নিরোধকের বিরুদ্ধ তড়িচ্চালক বল আবার এই আয়ন-সংখ্যাকেও সীমিত রাখে। নতুন টিউবটি ভাঙিয়া যাইতে পারে। ফলে, নিরোধক টিউবকে কার্যকরী রাখে এবং ইহার

নিরাপত্তারও ব্যবস্থা করে। টিউব লাইট অবশ্য ডি. সি. লাইনে ব্যবহার করিলে নিরোধকের কার্যকারিতা থাকে না—কারণ ডি. সি. প্রবাহ একমুখী ও স্থিরমানের হওয়ায় নিরোধক কুণ্ডলী বিরুদ্ধ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট করিতে পারে না। সেক্ষেত্রে বর্তনীতে একটি রোধ যোগ করিয়া টিউবকে নিরাপদ সীমার মধ্যে রাখা যায়।

ফ্লোরেসেন্ট বাতিতে সাধারণ বাতির তুলনায় অনেক সুবিধা আছে। ইহা সাধারণ বাতির তুলনায় প্রায় আড়াইগুণ বেশী আলো দেয়। ইহাতে ছায়ার সৃষ্টি হয় না। ইহার আলো খুব স্নিগ্ধ এবং চোখের পক্ষে ক্ষতিকারক নয়। ইহার তাপমাত্রা খুব কম এবং ইহা হইতে 'ঠাণ্ডা আলো' পাওয়া যায়। ইহা দামে বেশী হইলেও অনেক বেশী টেঁকসই। কাচনলের আকার বদলাইয়া ইহাকে আলোকসজ্জায় ব্যবহার করা যাইতে পারে।

1.4. ক্যাথোড-রশ্মি (Cathode-rays) :

আমরা পূর্বেই দেখিয়াছি, মোক্ষণ-নলে গ্যাসের চাপ কমাইয়া 0·01 মি. মি. পারদের চাপের সমান করিয়া তড়িৎ-মোক্ষণ পাঠাইলে নলের প্রায় সমস্ত অংশ ক্রুকের অন্ধকার অঞ্চল দ্বারা অন্ধকারাচ্ছন্ন হইয়া পড়ে। এই সময় ক্যাথোডের বিপরীত দিকে কাচনলের নীচে সবুজ বা নীল প্রতিপ্রভার সৃষ্টি হয়। ক্যাথোড হইতে এক প্রকার অদৃশ্য দ্রুতগামী কণাস্রোত নির্গত হইয়া অ্যানোডের চতুঃপার্শ্বস্থ দেওয়ালে ধাক্কা খাইয়া এই প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে। বিভিন্ন বিজ্ঞানীদের গবেষণার ফলে জানা গিয়াছে যে, ক্যাথোড হইতে নির্গত এই কণাগুলি ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত ইলেকট্রন-কণা। এই কণা-স্রোতের নামই ক্যাথোড-রশ্মি (Cathode rays)।

1.4a. ক্যাথোড রশ্মির ধর্ম (Properties of Cathode rays) :

বিভিন্ন গবেষণা ও পরীক্ষার ফলে ক্যাথোড-রশ্মির নিম্নলিখিত ধর্মগুলি আবিষ্কৃত হইয়াছে।

(i) ক্যাথোড-রশ্মি ক্যাথোড-পাত হইতে লম্বভাবে নির্গত হইয়া সরল-রেখায় গমন করে। পথিমধ্যে কোন অস্বচ্ছ বস্তু পড়িলে পর্দায় উহার জ্যামিতিক ছায়া সৃষ্টি করে।

(ii) ক্যাথোড-রশ্মি চৌম্বকক্ষেত্রে বিকর্ষিত হয় এবং এই বিকর্ষণের দিক চৌম্বকক্ষেত্রে ইলেকট্রনের বিকর্ষণের দিকেই হয়।

(iii) ক্যাথোড-রশ্মি তড়িৎক্ষেত্র দ্বারাও বিকর্ষিত হয়।

(iv) ক্যাথোড যদি কোন গোলকের অংশ হয় তবে ক্যাথোডের গাত্র হইতে ক্যাথোড-রশ্মি লম্বভাবে নির্গত হইয়া ইহার বক্রতাকেন্দ্রে একত্রীভূত হইবে এবং সেই বিন্দুতে কোন বস্তু রাখিলে তাহাকে উত্তপ্ত করিবে।

(v) ক্যাথোড-রশ্মির ভরবেগ আছে। কোন বিন্দুতে একত্রীকৃত ক্যাথোড-রশ্মির পথে যদি কোন ঘূর্ণায়মান যান্ত্রিক ব্যবস্থার ব্লেডগুলি থাকে তবে ক্যাথোড-রশ্মি ব্লেডগুলির উপর চাপ দেয়, ফলে যন্ত্রটি ঘুরিতে থাকে।

(vi) ক্যাথোড-রশ্মি ঋণাত্মক কণা দ্বারা গঠিত বলিয়া ইহার পথে কোন ধাতব বস্তু পড়িলে বস্তুটিও ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হইয়া পড়ে।

(vii) ক্যাথোড-রশ্মি কোন পাতলা ধাতব পাতের মধ্য দিয়া যাইতে পারে এবং পাতটিতে কোন ছিদ্র হয় না। পাতটি হইতে এক নীলাভ আলোকচ্ছটা বাহির হইতে দেখা যায়।

(viii) ক্যাথোড-রশ্মি অনেক স্ফটিক, লবণ ও ধাতুতে অনুপ্রভার (phosphorescence) সৃষ্টি করিয়া উজ্জ্বল আলোর সৃষ্টি করে।

(ix) এই রশ্মি ফটোগ্রাফী ফিল্মকে সাধারণ আলোর ন্যায় প্রভাবিত করে।

(x) এই রশ্মি কোন অপরিবাহী গ্যাসকে আয়নিত করিয়া গ্যাসটিকে পরিবাহী করিয়া তোলে।

(xi) ক্যাথোড-রশ্মি কোন ধাতব পদার্থের উপর পড়িলে বিশেষ অবস্থায় সেই ধাতব পদার্থ হইতে অন্য এক ধরনের রশ্মি বাহির হয়—ইহার নাম এক্স-রশ্মি (X-rays)।

1.5. এক্স রশ্মির আবিষ্কার (Discovery of X-rays) :

18?5 খ্রীষ্টাব্দে জার্মান বিজ্ঞানী অধ্যাপক **রন্টজেন** (Roentgen) এই রশ্মির আবিষ্কার করেন। তিনি একটি মোক্ষণ-নলে 0·01 মি. মি. বা ইহারও কম চাপ সৃষ্টি করিয়া ক্যাথোড-রশ্মির গুণাবলী পর্যবেক্ষণ করিবার সময় এক নূতন ঘটনা লক্ষ্য করিলেন। তিনি দেখিলেন, মোক্ষণ-নল হইতে কিছুদূরে রাখা একটি বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড প্লেট (প্রতিপ্রভ পর্দা) মোক্ষণ-নলের প্রভাবে সাধারণ আলোর ন্যায় উজ্জ্বল হইয়া উঠিল। অনুরূপে, নিকটে রাখা সম্পূর্ণভাবে কালো কাগজে মোড়া একটি ফটোগ্রাফী কাগজও প্রভাবিত হইতে দেখা গেল। মোক্ষণ নল ও প্রতিপ্রভ পর্দার মাঝখানে কোন মোটা ধাতব চাকতি রাখিলে প্রতিপ্রভ পর্দাতে ঐ মোটা চাকতিটির একটি কালো ছায়া পড়িতে দেখা গেল ; কিন্তু পাতলা অ্যালুমিনিয়াম পাত, কাগজ বা কাঠ

প্রভৃতির তেমন কোন ছায়া দেখা গেল না। অর্থাৎ এই অবস্থায় মোক্ষণ-নল হইতে উদ্ভূত কোন অদৃশ্য শক্তিশালী রশ্মি পাতলা জিনিসের বাধা মানে না। ফলে ইহা ক্যাথোড-রশ্মি হইতে স্বতন্ত্র ধরনের। নানারূপ পরীক্ষার পর অবশেষে তিনি সিদ্ধান্তে আসেন যে, ক্যাথোড-রশ্মি মোক্ষণ-নলের দেওয়ালে পড়িলে এই অজ্ঞাত রশ্মির সৃষ্টি হয়। অর্থাৎ মোক্ষণ-নলের এই চাপে দ্রুতগতি ইলেকট্রন-কণা কোন প্রতিবন্ধকে বাধাপ্রাপ্ত হইলে এই উচ্চ ভেদনশক্তি-সম্পন্ন রশ্মির উৎপত্তি হয়। কিন্তু এই রশ্মির প্রকৃত স্বরূপ তখন তাঁহার জানা না থাকায় তিনি ইহার নাম দেন **এক্স-রশ্মি** (X-rays) বা অজ্ঞাত রশ্মি।

পরবর্তী কালে নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষার পর এক্স-রশ্মির নিম্নলিখিত ধর্মগুলি আবিষ্কৃত হইয়াছে।

1.5a. এক্স-রশ্মির ধর্মাবলী (Properties of X-rays) :

(i) সাধারণ আলোকের ন্যায় এক্স-রশ্মি সরলরেখায় গমন করে।

(ii) ক্যাথোড-রশ্মি যখন কোন কঠিন পদার্থে (বিশেষতঃ, ধাতব পদার্থে) ধাক্কা খায়, তখনই সেই স্থান হইতে এক্স-রশ্মির সৃষ্টি হয়।

(iii) ক্যাথোড-রশ্মির মত এক্স-রশ্মিও বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড, জিঙ্ক সালফাইড প্রভৃতি বস্তুতে প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে।

(iv) কোন গ্যাসের মধ্য দিয়া এক্স-রশ্মি গেলে উহা সেই গ্যাসকে আয়নিত করিয়া উহাকে তড়িৎ-পরিবাহী করে।

(v) ইহা ফটোগ্রাফী ফিল্মকে প্রভাবিত করে।

(vi) ক্যাথোড-রশ্মি হইতে এক্স-রশ্মির সবচেয়ে বড় পার্থক্য হইল, **এক্স-রশ্মি চৌম্বকক্ষেত্র বা তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবমুক্ত।** ইহা প্রমাণ করে যে, এক্স-রশ্মি ক্যাথোড-রশ্মির মত তড়িৎযুক্ত কণিকা-স্রোত নয়; ইহা সাধারণ আলোকের ন্যায় তড়িৎবিহীন, তবে সাধারণ আলো অপেক্ষা কম তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের (10^{-8} সে. মি.-এর কাছাকাছি) এক তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ-বিশেষ (electro-magnetic wave)।

(vii) এক্স-রশ্মির সবচেয়ে বড় গুণ হইল সাধারণ আলোতে অস্বচ্ছ, কঠিন পদার্থের মধ্য দিয়াও ইহা চলিয়া যাইতে পারে। ইহার ভেদনশক্তি (penetrating power) নির্ভর করে কঠিন পদার্থের ঘনত্বের উপর এবং মোক্ষণ-নলে বাতাসের চাপের উপর। চাপ যত কম হইবে তত বেশী শক্তি-শালী এক্স-রশ্মি (hard X-rays) পাওয়া সম্ভব। মানুষের দেহের রক্তমাংসের মধ্য দিয়া এক্স-রশ্মি চলিয়া যাইতে পারে, কিন্তু হাড় ভেদ করিতে পারে না।

(viii) এক্স-রশ্মি কোন ধাতব বস্তুতে পড়িলে সেই বস্তু হইতে অন্য এক রশ্মি বাহির হইয়া আসে—ইহার নাম **দ্বিতীয় পর্যায়ের বিকিরণ** (secondary radiation)। ইহার প্রকৃতি যে পদার্থের উপর এক্স-রশ্মি পড়ে তাহার উপর নির্ভরশীল।

(ix) যে সকল পদার্থের স্ফটিকে (কেলাসে) পরমাণুর অবস্থান নিয়মিত, সেইসব স্ফটিক হইতে এক্স-রশ্মির নিয়মিত **অপবর্তন** হয়। ইহা ছাড়া সাধারণ আলোকের ন্যায় এক্স-রশ্মির ব্যতিচার সমবর্তন ইত্যাদিও হইয়া থাকে।

1.5b. এক্স-রশ্মির প্রকৃতি (Nature of X-rays) :

এক্স-রশ্মি আবিষ্কৃত হইলে সমসাময়িক বিজ্ঞানীগণ ইহার প্রকৃতি সম্বন্ধে নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষা করিয়াও কোন স্থির সিদ্ধান্তে আসিতে পারেন নাই। কিন্তু তড়িৎক্ষেত্র বা চৌম্বকক্ষেত্র ইহাকে প্রভাবিত করিতে না পারায় একটি বিষয়ে নিঃসন্দেহ হওয়া গিয়াছিল যে, ক্যাথোড-রশ্মির মত ইহা তড়িৎযুক্ত কণিকাসমষ্টি নয়। ইহার ধর্মাবলী পর্যবেক্ষণ করিয়া পরবর্তী কালে সিদ্ধান্ত করা হইল যে, এক্স-রশ্মি সাধারণ আলোকের ন্যায় তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গবিশেষ। ইহার স্বপক্ষে পরীক্ষামূলকভাবে পরবর্তী কালে বিজ্ঞানীগণ সাধারণ আলোর ন্যায় এক্স-রশ্মির প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন প্রভৃতি প্রমাণ করিতে সমর্থ হন।

এক্স-রশ্মির তরঙ্গধর্মিতার সবচেয়ে বড় প্রমাণ ইহার অপবর্তন। তবে ইহার তরঙ্গদৈর্ঘ্য সাধারণ আলোর তুলনায় অনেকগুণ ছোট হওয়ায় সাধারণ আলোর ক্ষেত্রে কার্যকর অপবর্তন গ্রেটিং (grating) এক্স-রশ্মির ক্ষেত্রে মোটেই কার্যকর নয়; কেননা সেক্ষেত্রে প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ইহার রেখার সংখ্যা অনেকগুণ বৃদ্ধি করিতে হইবে এবং বাস্তবে এইরূপ গ্রেটিং তৈয়ারী করা সম্ভব নয়। জার্মান বিজ্ঞানী **ভন লাউয়ে** (Von Laue) তখন চিন্তা করিলেন যে, কোন পদার্থের কেলাসে প্রতি দুইটি পরমাণুর মধ্যকার ফাঁক এক্স-রশ্মির উপযোগী গ্রেটিং-এর ফাঁকের সমান হইতে পারে। কেলাস গ্রেটিং অবশ্য ত্রিমাত্রিক গ্রেটিং, সাধারণ আলোর গ্রেটিং হয় দ্বিমাত্রিক। এইরূপ গ্রেটিং-এ এক্স-রশ্মির অপবর্তন নক্সা হিসাবে ফটোগ্রাফী প্লেটে কতকগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্তের আকারে সজ্জিত বিন্দু পাওয়া যাইবে। 1913 খৃষ্টাব্দে লাউয়ে তাঁহার দুই সহযোগী ফ্রেডারিক ও নিপিং-এর সহযোগিতায় কেলাস গ্রেটিং-এ অপবর্তন হইতে এইরূপ বিন্দুসমষ্টি দেখিতে পান। ইহারা 'লাউয়ে বিন্দু' (Laue spots)

নামে পরিচিত। ইহা হইতে প্রমাণিত হইল যে, এক্স-রশ্মির অপবর্তন হয় এবং ইহা তরঙ্গধর্মী।

সমসাময়িক বিজ্ঞানী অধ্যাপক ব্র্যাগ (W. L. Bragg) এক্স-রশ্মির অপবর্তনের এক সরল ব্যাখ্যা দেন। তাঁহার ব্যাখ্যানুসারে, অপবর্তনে সৃষ্ট বিন্দুগুলি কেলাসের বিভিন্ন পরমাণবিক স্তরগুলিতে এক্স-রশ্মির প্রতিফলন ও প্রতিফলিত রশ্মিগুলির ব্যতিচারে গঠিত হয়। এই সম্বন্ধে তিনি একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন— ইহাকে 'ব্র্যাগের সমীকরণ' বলে। পরে তিনি এক্স-রশ্মির বর্ণালী-বীক্ষণ যন্ত্রের উদ্ভাবন করেন এবং ইহাতে তিনি সরাসরিভাবে তাঁহার সমীকরণের পরীক্ষামূলক প্রমাণ করিয়া দেখান যে, সাধারণ আলোকের ন্যায় এক্স-রশ্মিরও প্রতিফলন হয়।

1919 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী স্টেনস্ট্রম, ব্র্যাগের সমীকরণের সহায়তায় এক্স-রশ্মির প্রতিসরণ প্রমাণ করিলেন। 1922 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী কম্পটন এক্স-রশ্মির পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন প্রদর্শন করান।

এক্স-রশ্মি কি ধরনের তরঙ্গ (তির্যক না অণুদৈর্ঘ্য) তাহা পরীক্ষা করিবার জন্য বিভিন্ন বিজ্ঞানীরা ইহার সমবর্তন পর্যবেক্ষণ করিবার চেষ্টা করিলেন। সমবর্তন একমাত্র তির্যক তরঙ্গের ক্ষেত্রেই সম্ভব—এই নিয়মে সাধারণ আলোক-তরঙ্গের সমবর্তন ইহার তির্যক প্রকৃতির জন্যই হইয়া থাকে। এক্স-রশ্মির ক্ষেত্রে বহু বিফল চেষ্টার পর অবশেষে বিজ্ঞানী বার্কলা কার্বন-ব্লকে এক্স-রশ্মির বিক্ষেপণ (scattering) সৃষ্টি করিয়া এক্স-রশ্মির সমবর্তন প্রমাণ করিতে সমর্থ হন। ইহা হইতেই প্রমাণিত হইল যে, এক্স-রশ্মিতরঙ্গ তির্যক প্রকৃতির।

এইভাবে বিভিন্ন ক্ষেত্রে আলোকরশ্মির সহিত এক্স-রশ্মির সহধর্মিতা প্রমাণিত হইল। পরবর্তী কালে বিভিন্ন পদার্থ হইতে সৃষ্ট এক্স-রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এক্স-রশ্মি বর্ণালী-বীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে নির্ধারিত হইল। উপরোক্ত পরীক্ষাসমূহ হইতে নিঃসন্দেহে প্রমাণিত হইল যে, এক্স-রশ্মি আলোকরশ্মির মতই এক তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ।

1.5c. এক্স-রশ্মির ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical applications of X-rays) :

মানব জাতির কল্যাণে এক্স-রশ্মির ব্যবহারিক প্রয়োগ সর্বাধিক। ইহাদের মধ্যে প্রধান কয়েকটি এখানে সংক্ষেপে আলোচনা করিব।

(*i*) **বৈজ্ঞানিক-কার্যে :** বিভিন্ন পদার্থের কেলাসের পরমাণুসমূহের বিন্যাস তথা কেলাসের গঠন এবং পদার্থের অভ্যন্তরে নানা ধরনের দোষ-ত্রুটি

নির্ধারণ-সম্বন্ধীয় বহু বৈজ্ঞানিক গবেষণায় এক্স-রশ্মির বহুল ব্যবহার করা হয়।

(*ii*) **শিল্প-ক্ষেত্রে :** বিভিন্ন ধাতব বস্তুর ভিতরের নানা দোষ-ত্রুটির প্রকৃতি ও মাত্রা নির্ধারণে এক্স-রশ্মি ব্যবহৃত হয়। ঢালাই ও ঝালাই বস্তুর (যেমন লোহার কড়ি, বরগা ইত্যাদি) ভিতরের নানা গলদ নির্ণয়ে বহু কলকারখানায় এক্স-রশ্মির প্রয়োগ করা হয়।

(*iii*) **চিকিৎসা-বিজ্ঞানে :** এক্স-রশ্মি আধুনিক চিকিৎসা-বিজ্ঞানের একটি অপরিহার্য অঙ্গ। এক্স-রশ্মির সাহায্যে শরীরের বিভিন্ন অংশের হাড়ের ছবি ফটোগ্রাফী প্লেটে পাওয়া যায়। ইহার সাহায্যে যক্ষা, ক্যান্সার প্রভৃতি রোগের নির্ধারণ ও চিকিৎসা করা সম্ভব হয়। দেহের অভ্যন্তরে কোথাও কোন অবাঞ্ছিত বস্তু প্রবেশ করিলে বা দেহের কোথাও কোন হাড় ভাঙ্গিয়া গেলে এক্স-রশ্মির সহায়তায় তাহা সঠিকভাবে নির্ধারণ করা যায়। ক্যান্সার প্রভৃতি রোগগ্রস্ত ব্যক্তির আক্রান্ত তন্তুসমূহ এক্স-রশ্মি ধ্বংস করিয়া দিতে পারে। এইসব ক্ষেত্রে অবশ্য এক্স-রশ্মি খুব সতর্কতার সহিত ব্যবহার করিতে হয়, কেননা সুস্থ শরীরের ক্ষেত্রে এইরূপ এক্স-রশ্মি খুব ক্ষতিকর।

(*iv*) **পুলিস বিভাগে :** নানা চোরাচালান, গহনা, মুদ্রা প্রভৃতির গোপনে পাচার নিবারণে এক্স-রশ্মির ব্যবহার করা হয়। ফরেনসিক বিভাগ নানা হত্যাকাণ্ডের অনুসন্ধানেও এক্স-রশ্মি ব্যবহার করেন।

প্রশ্নাবলী

1. গ্যাসের তড়িৎ-পরিবাহিতা বলিতে কি বোঝায় ? সাধারণ চাপের গ্যাসে তড়িৎ-পরিবহন পদ্ধতি বর্ণনা কর। পরিবাহীর বিভব-প্রভেদের পরিবর্তনের সঙ্গে আয়নয়ন প্রবাহের সম্পর্ক নিরূপণ ও ব্যাখ্যা কর।

[What is meant by electrical conductivity of gases ? Explain the process of electrical conductivity of gases at normal pressure. Determine how ionisation current changes with the change in the potential difference between the conductors and also explain the phenomena.]

2. নিম্নচাপে মোক্ষণ-নলে উদ্ভূত ঘটনাসমূহের ধারাবাহিক বিবরণ দাও এবং ইহাদের ব্যাখ্যা কর।

[Narrate the different phenomena observed in a discharge tube at low pressure and explain them.]

3. গ্যাসের ভিতর তড়িৎ-মোক্ষণ দ্বারা আলোকসৃষ্টির কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ বর্ণনা কর।

[State and explain some applications of discharge through gases for purposes of illumination.]

4. ক্যাথোড-রশ্মি কি? উহাদের ধর্মাবলী বর্ণনা কর।

[What are cathode rays ? Explain their properties.]

5. এক্স-রশ্মি কি এবং কিভাবে ইহা আবিষ্কৃত হয়? ইহার ধর্মাবলী বর্ণনা কর। ইহার প্রকৃতি কিভাবে নিরূপিত হয়? ইহার কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ বর্ণনা কর।

[What are X-rays and how were they discovered ? Explain there properties. How the nature of X-rays was determined ? Explain some practical applications of X-rays.]

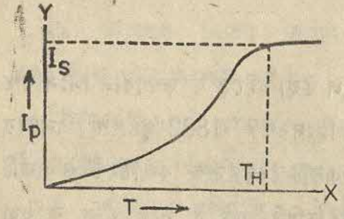
দ্বিতীয় অধ্যায়
তাপীয় আয়ন নিঃসরণ
(Thermoionic emission)

2.1. সূচনা (Introduction) :

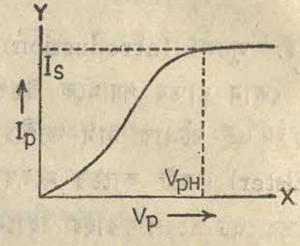
কোন ধাতব পদার্থকে উত্তপ্ত করিলে উহা হইতে তড়িতাধান নিঃসরিত হয়। এই ঘটনার নাম তাপীয় আয়ন নিঃসরণ। 1882 খৃষ্টাব্দে এল্‌ষ্টার (Elster) একটি কাচের নলের ভিতর একটি বৈদ্যুতিক ফিলামেণ্ট ও একটি ধাতব প্লেট প্রবেশ করাইয়া উহাদের একটি তড়িৎ-বর্তনীর সঙ্গে যুক্ত করিয়া এই ঘটনার একাধিক পরীক্ষা করেন। নলের ভিতরের চাপ কিছুটা কমাইয়া ফিলামেণ্টকে তড়িৎপ্রবাহের দ্বারা উত্তপ্ত করিলে তিনি প্লেটে তড়িতাধানের আধিক্য লক্ষ্য করেন। 1885 খৃষ্টাব্দে এডিসন (Edison) অনুরূপ পরীক্ষায় ফিলামেণ্ট ও প্লেটে যথাক্রমে ঋণাত্মক ও ধনাত্মক বিভব দিয়া দেখেন যে, তড়িৎ-বর্তনীতে যুক্ত একটি গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ হইতেছে। এক্ষেত্রে ফিলা-মেণ্টের বিভব প্লেটের বিভবের সাপেক্ষে ঋণাত্মক হওয়ায় উত্তপ্ত ফিলামেণ্ট হইতে নিঃসরিত তড়িতাধানের প্রকৃতি নিশ্চয়ই ঋণাত্মক (ইলেকট্রন) হইবে—কারণ প্লেটের ধনাত্মক বিভব-প্রভাবে উহারা প্লেটের দিকে আকৃষ্ট হয় এবং প্লেট-বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করে। তাঁহার এই যুক্তির স্বপক্ষে তিনি দেখিতে পান যে, প্লেটে ঋণাত্মক বিভব দিলে গ্যালভ্যানোমিটারে কোন বিক্ষেপ হইতেছে না। কারণ এক্ষেত্রে প্লেটের ঋণাত্মক বিভবের প্রভাবে ফিলামেণ্ট হইতে নিঃসরিত ইলেকট্রন কণাগুলি বিকর্ষিত হইয়া পুনরায় ফিলামেণ্টের দিকেই ফিরিয়া যায়। ফলে প্লেট-বর্তনীতে কোন তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায় না। এই ঘটনার এইরূপ ব্যাখ্যার জন্য তাপীয় আয়ন নিঃসরণের ঘটনাকে বহুকাল ধরিয়া **এডিসন ক্রিয়া** (Edison effect) বলা হইত।

1902 খ্রীষ্টাব্দে অধ্যাপক রিচার্ডসন (Richardson) এই ঘটনার বিস্তারিত পরীক্ষা করেন। তিনি এবং তাঁহার সমসাময়িক বিজ্ঞানীরা প্রমাণ করেন যে, এই তড়িতাধান নিঃসরণের হার ফিলামেণ্টের উষ্ণতা ও প্রকৃতি, নলের গ্যাসের প্রকৃতি ও চাপ এবং ফিলামেণ্ট ও প্লেটের মধ্যে বিভবপ্রভেদ প্রভৃতির উপর নির্ভরশীল। রিচার্ডসনই এই ঘটনার নামকরণ করেন **তাপীয় আয়ন নিঃসরণ** এবং নিঃসরিত ইলেকট্রনগুলির নাম দেন **তাপীয় আয়ন**

(thermoions)। ইহা হইতে উদ্ভূত তড়িৎপ্রবাহকে **তাপীয় আয়ন প্রবাহ** (thermoionic current) বলে। পরীক্ষার ফলে দেখা গিয়াছে যে, ফিলামেন্ট ও প্লেটের মধ্যে বিভব-প্রভেদ অপরিবর্তিত রাখিয়া ফিলামেন্টের ভিতর তড়িৎপ্রবাহ বৃদ্ধি করিয়া ইহার উষ্ণতা (T) বাড়াইলে প্লেটের ভিতর



চিত্র 2.1



চিত্র 2.2

আয়নপ্রবাহ (I_p) চিত্র 2.1 অনুযায়ী বৃদ্ধি পায়। অনুরূপে ফিলামেন্টের উষ্ণতা স্থির রাখিয়া প্লেট ও ফিলামেন্টের মধ্যে বিভব-প্রভেদ (V_p) বৃদ্ধি করিলে প্লেটের আয়ন-প্রবাহ (I_p) চিত্র 3.2 অনুযায়ী বৃদ্ধি পায়।

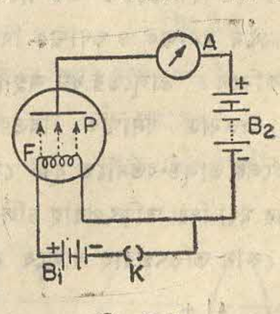
উভয় চিত্র হইতেই বোঝা যাইতেছে যে, ফিলামেন্টের তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা ফিলামেন্ট ও প্লেটের মধ্যে বিভব-প্রভেদ বৃদ্ধি করিলে প্লেট-প্রবাহ (I_p) বৃদ্ধি পায়। কিন্তু ফিলামেন্টের কোন উচ্চ তাপমাত্রায় (T_H) বা উচ্চমানের বিভব-প্রভেদে (V_{pH}) এই প্লেট-প্রবাহ সর্বোচ্চ মান (I_s) পায়—অর্থাৎ ইহার পর আরও তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বা বিভব-প্রভেদ বৃদ্ধিতে প্লেট-প্রবাহ বৃদ্ধি পায় না। প্রথমোক্ত অবস্থায় ধাতব ফিলামেন্টের 'মুক্ত ইলেকট্রন'-গুলির তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে ইহাদের গতিশক্তি বৃদ্ধি পায় এবং এই গতিশক্তি ইলেকট্রনগুলি যে আকর্ষণ-বলে ধাতব পদার্থের সঙ্গে যুক্ত থাকে তাহা অপেক্ষা বেশী হইলে ইহারা ধাতব-পৃষ্ঠ ছাড়িয়া নির্গত হয়। তরলপৃষ্ঠ হইতে তরল-অণুর বাষ্পীভবন পদ্ধতির সহিত এই পদ্ধতির অনেক মিল আছে। কিন্তু প্লেটের কোন স্থির বিভব-পার্থক্যে ফিলামেন্ট হইতে নিঃসরিত সব কয়টি ইলেকট্রনই প্লেটে পৌছাইতে পারে না এবং ফিলামেন্টের কাছাকাছি অঞ্চলে ইলেকট্রন জমিয়া যায়। ফিলামেন্টে ও প্লেটের মধ্যবর্তী স্থানে ইলেকট্রনের এই সমাবেশকে **স্পেস্-চার্জ** (space-charge) বলে। স্পেস-চার্জের ফলে ফিলামেন্ট হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণ ব্যাহত হয়; এমনকি কিছু কিছু ইলেকট্রন বিকর্ষিত হইয়া পুনরায় ফিলামেন্টেই ফিরিয়া যায়। ফলে প্লেট-প্রবাহ আর বৃদ্ধি পাইতে পারে না। প্লেটের বিভব-প্রভেদ অবশ্য আরও বাড়াইলে প্লেটে আরও কিছু সংখ্যায়

ইলেকট্রন পৌঁছাইবে এবং প্লেট-প্রবাহ সামান্য সামান্য করিয়া বৃদ্ধি পাইবে। এই প্লেট-প্রবাহও অবশেষে সর্বোচ্চ মান পায় এবং বিভব-প্রভেদ বাড়াইলে প্লেট-প্রবাহ আর বৃদ্ধি পায় না। এই অবস্থায় প্লেট-প্রবাহকে **সংপৃক্ত প্রবাহ** (Saturation current) বলে।

2.2. তাপীয় আয়ন ভাল্‌ভ (Thermoionic valves) :

(A) দ্বি-তড়িৎ-দ্বার ভাল্‌ভ বা ডায়োড (Diode) :

তাপীয় আয়ন নিঃসরণের নীতি অবলম্বন করিয়া একাধিক তাপীয় আয়ন ভাল্‌ভ উদ্ভাবিত হইয়াছে। ডায়োড হইল এইরূপ একটি দ্বি-তড়িৎ-দ্বার ভাল্‌ভ। ইহাতে একটি বায়ুশূন্য কাচের কুণ্ডে একটি ফিলামেন্ট F ও একটি প্লেট P আবদ্ধ থাকে (চিত্র 2.3)। B_1 ব্যাটারীর সাহায্যে একটি চাবি (K)-এর মাধ্যমে ফিলামেন্ট, F-কে উত্তপ্ত করিলে ইহা হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণ হইতে থাকে। অন্য একটি উচ্চ বিভবসম্পন্ন ব্যাটারী B_2-এর ধনাত্মক প্রান্ত প্লেট, P-এর সঙ্গে একটি মিলি অ্যাম্মিটারের (A) মাধ্যমে যুক্ত থাকে ; B_2-এর ঋণাত্মক প্রান্ত ফিলামেন্ট-বর্তনীর ঋণাত্মক প্রান্তে যুক্ত থাকে। ইহার ফলে প্লেট, P ফিলামেন্ট F-এর সাপেক্ষে ধনাত্মক বিভবগ্রস্ত হয় এবং ফিলামেন্ট হইতে নিঃসরিত ইলেকট্রন-গুলি আকর্ষিত হইয়া প্লেটের দিকে অগ্রসর হয়। প্লেট-বর্তনীর মিলি-অ্যাম্মিটারের বিক্ষেপ হইতে প্লেটের দিকে এই তাপীয় আয়ন-প্রবাহের মাত্রা নির্ণয় করা যায়। এখন B_2 ব্যাটারীর প্রান্তদ্বয় উল্টাইয়া P প্লেটকে ফিলামেন্ট, F-এর সাপেক্ষে ঋণাত্মক বিভব দিলে দেখা যাইবে অ্যাম্মিটার A-তে কোন বিক্ষেপ হইতেছে না। অর্থাৎ এক্ষেত্রে কোন তাপীয় আয়ন প্রবাহ হইতেছে না। সুতরাং F ও P-এর মধ্যে আয়নপ্রবাহ সর্বদা একমুখী এবং সেজন্য ইহাকে ভাল্‌ভ (একমুখী দরজা) বলে।



চিত্র 2.3

সাধারণভাবে ডায়োডের প্লেট, P-কে **অ্যানোড** (anode) বা **প্লেট** (plate) বলে এবং ফিলামেন্ট, F-কে **ক্যাথোড** (cathode) বলে।

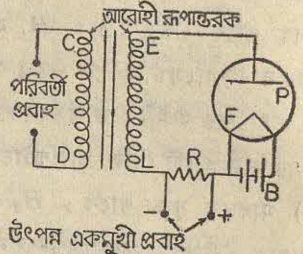
ডায়োডের ব্যবহার—একমুখীকরণ (Use of diode—Rectification) :

পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে রূপান্তরিত করিবার কাজে ডায়োডের বহুল ব্যবহার দেখা যায়। একমুখীকরণ দুই রকমের হইতে পারে—(i)

অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ (half-wave rectification), (ii) পূর্ণ-তরঙ্গ একমুখীকরণ (full-wave rectification)। ইহাদের নীতি নিম্নে আলোচিত হইল।

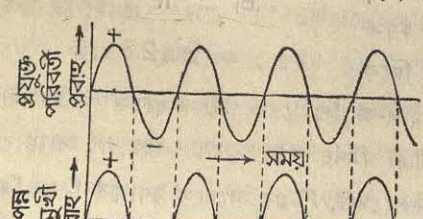
(i) **অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ :**

চিত্রে (চিত্র 2.4) P এবং F একটি ডায়োড ভাল্‌ভের যথাক্রমে প্লেট ও ফিলামেণ্ট। ব্যাটারী B হইতে তড়িৎপ্রবাহের সাহায্যে ফিলামেণ্টকে উত্তপ্ত করিয়া ইলেকট্রন নিঃসরণের ব্যবস্থা করা হয়। কোন পরিবর্তী প্রবাহ একটি আরোহী রূপান্তরকের (step-up transformer) মুখ্য কুণ্ডলী, CD-তে প্রয়োগ করিলে উহার গৌণ কুণ্ডলী, EL-তে আবিষ্ট পরিবর্তী প্রবাহ পাইবে। গৌণ কুণ্ডলীর দুইপ্রান্ত একটি রোধ, R-এর মাধ্যমে ভাল্‌ভ-বর্তনীর সহিত যুক্ত থাকে। এখন পরিবর্তী প্রবাহ প্লেট, P-কে ফিলামেণ্ট F-এর সাপেক্ষে পর্যায়ক্রমে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক বিভবগ্রস্ত করিবে। ভাল্‌ভের ধর্ম অনুসারে প্লেট একমাত্র ধনাত্মক বিভবগ্রস্ত থাকিলেই ভাল্‌ভ-বর্তনীতে যুক্ত রোধ



চিত্র 2.4

R-এর মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহ চলিবে—ঋণাত্মক বিভবগ্রস্ত হইলে রোধের মধ্য দিয়া কোন তড়িৎপ্রবাহ চলিবে না। ফলে রোধের মধ্য দিয়া বিরতিযুক্ত (intermittent)—কিন্তু সর্বদা একমুখী প্রবাহের সৃষ্টি হয়। চিত্র 2.5-এ প্রযুক্ত পরিবর্তী প্রবাহ ও উৎপন্ন একমুখী প্রবাহের প্রকৃতি দেখানো হইল। প্রযুক্ত পরিবর্তী প্রবাহের



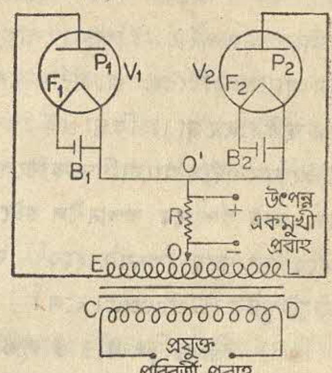
চিত্র 2.5

নিম্নার্ধে ভাল্‌ভটি নিষ্ক্রিয় থাকে বলিয়া এই প্রণালীকে অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ বলে।

(ii) **পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ :**

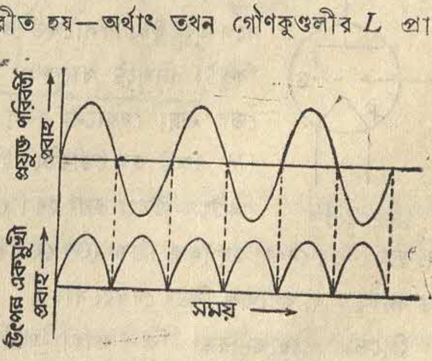
পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ করিতে দুইটি ডায়োডের প্রয়োজন। ইহাতে প্রযুক্ত পরিবর্তী প্রবাহবাহী আরোহী রূপান্তরকের গৌণকুণ্ডলীর দুইপ্রান্তে (E ও L) ভাল্‌ভ দুইটির প্লেটদ্বয়, P_1 ও P_2 যুক্ত থাকে (চিত্র 2.6)। ভাল্‌ভ

দুইটির ফিলামেন্টগুলি (F_1 ও F_2) একসঙ্গে যুক্ত থাকে। গৌণকুণ্ডলীর মধ্যবিন্দু, O এবং ফিলামেন্ট দুইটির সংযোগী তারের কোন বিন্দু O' একটি রোধ, R-এর মাধ্যমে যুক্ত থাকে। এখন আরোহী রূপান্তরকে প্রযুক্ত পরিবর্তী প্রবাহের অর্ধপর্যায়ে গৌণকুণ্ডলীর E প্রান্ত ধনাত্মক ও L প্রান্ত ঋণাত্মক বিভবপ্রাপ্ত হয়। সেই সময় ইহার মধ্যবিন্দু O-এর বিভব E-এর সাপেক্ষে ঋণাত্মক, কিন্তু L-এর সাপেক্ষে ধনাত্মক হয়। ফলে সেই অর্ধপর্যায়ে V_1 ভাল্‌ভের প্লেট, P_1 ফিলামেন্ট, F_1-এর সাপেক্ষে ধনাত্মক বিভব পায় এবং ইহাতে তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়; কিন্তু



চিত্র 2.6

এই সময় V_2 ভাল্‌ভের প্লেট P_2-এর বিভব ইহার ফিলামেন্ট F_2-এর সাপেক্ষে ঋণাত্মক বিভবগ্রস্ত থাকে বলিয়া ইহাতে কোন তড়িৎপ্রবাহ ঘটে না। পরবর্তী অর্ধপর্যায়ে অবস্থাটা ঠিক বিপরীত হয়—অর্থাৎ তখন গৌণকুণ্ডলীর L প্রান্ত ধনাত্মক ও E প্রান্ত ঋণাত্মক বিভবগ্রস্ত হয়—ফলে একই নিয়মে V_2 ভাল্‌ভে তড়িৎপ্রবাহ চলে কিন্তু V_1 ভাল্‌ভে কোন প্রবাহ সৃষ্টি হয় না। এইভাবে পর্যায়ক্রমে ভাল্‌ভ দুইটির একটি পরিবাহী



চিত্র 2.7

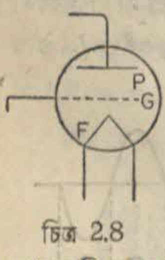
ও অপরটি অপরিবাহী থাকে। এক্ষেত্রে আরোহী রূপান্তরকে প্রযুক্ত পরিবর্তী প্রবাহের প্রকৃতি ও রোধ, R-এর দুইপ্রান্তে উৎপন্ন একমুখী প্রবাহের প্রকৃতি চিত্র 2.7 দ্বারা প্রকাশ করা যায়। এই ব্যবস্থায় যে কোন ভাল্‌ভই পরিবাহী হউক না কেন, রোধের মধ্যে তড়িৎপ্রবাহ সর্বদাই একমুখী হইবে—অর্থাৎ পরিবর্তী প্রবাহের পূর্ণতরঙ্গই একমুখী প্রবাহে পরিণত হয়। সেইজন্য এই প্রণালীকে পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ বলে। এই পদ্ধতিতে রোধের মধ্য দিয়া উৎপন্ন প্রবাহ অবিরাম ও স্থির প্রকৃতির হয়।

একমুখীকরণের প্রয়োজনীয়তা :

টেলিফোন, রেডিও প্রভৃতিতে বিভিন্ন কম্পাঙ্কের বৈদ্যুতিক স্পন্দন ব্যবহৃত হয়। এই স্পন্দনের উভয় অর্ধেই বিস্তার সমান থাকে। ফলে কোন টেলিফোনের পর্দায় এই স্পন্দন সোজাসুজি পড়িলে পর্দা সমভাবে উভয় দিকে টান অনুভব করিবে এবং পর্দার কোন লব্ধ বিচলন হইবে না। ফলে কোন শব্দ সৃষ্টি হইবে না। কিন্তু এই স্পন্দনকে ভাল্‌ভের সাহায্যে একমুখী করিয়া টেলিফোন পর্দায় আরোপিত করিলে পর্দা সেই অভিমুখেই টান অনুভব করিবে এবং একই কম্পাঙ্কে কম্পনশীল হইবে। ফলে শব্দের পুনরুৎপাদন করা সম্ভব হইবে এবং তাহা শোনা যাইবে। ডায়োডের এরূপ ব্যবহারের এজন্য ইহাকে **ডিটেক্টর** (Detector) বলে।

(*B*) **ত্রি-তড়িৎ-দ্বার ভাল্‌ভ বা ট্রায়োড (Triode) :**

1907 খ্রীষ্টাব্দে ডঃ লী ভ ফরেস্ট (Lee De Forest) বায়ুশূন্য কাচের বাল্‌ভের মধ্যে প্লেট ও ফিলামেন্ট ছাড়াও একটি তৃতীয় তড়িৎ-দ্বার প্রবেশ করাইয়া ট্রায়োড ভাল্‌ভের উদ্ভাবন করেন। এই তৃতীয় তড়িৎ-দ্বারটি একটি ধাতব তারজালির মত হয় বলিয়া ইহাকে গ্রিড্ (Grid) বলে এবং ইহা ফিলামেন্ট ও প্লেটের মাঝখানে ফিলামেন্টের কিছুটা নিকটে থাকে। চিত্র 2.8-এ একটি সরল ট্রায়োডের নক্সা দেখানো হইল। ইহার ফিলামেন্ট-বর্তনীতে (*F*) একটি কম ভোল্টেজের ব্যাটারী যুক্ত করিয়া ফিলামেন্টকে উত্তপ্ত করা হয়। প্লেট (*P*)-কে ফিলামেন্টসাপেক্ষে ধনাত্মক বিভব দেওয়া হয় কিন্তু গ্রিড্ (*G*)-কে ফিলামেন্টের সাপেক্ষে প্রয়োজনমত ধনাত্মক বা ঋণাত্মক বিভব দেওয়া যায়।



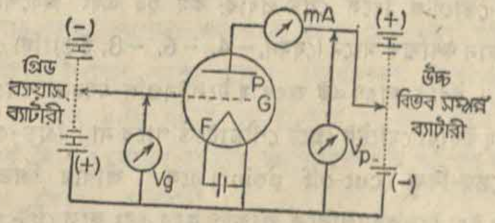
চিত্র 2.8

গ্রিডের প্রয়োজনীয়তা কি—তাহা এখন বোঝার চেষ্টা করা যাক্। তোমরা জান তাপীয় আয়ন-প্রবাহে স্পেস-চার্জের দরুন প্লেট-প্রবাহ কমিয়া যায় এবং প্লেটের ধনাত্মক বিভব বৃদ্ধি করিতে থাকিলেও প্লেট-প্রবাহ একটু একটু করিয়া বৃদ্ধি পায়। অবশেষে প্লেট-প্রবাহ সংপৃক্ত মানে পৌঁছে। ফিলামেন্টের নিকটস্থ গ্রিডে যদি ফিলামেন্ট সাপেক্ষে ধনাত্মক বিভব দেওয়া হয় তবে ইহা ফিলামেন্ট হইতে নির্গত ইলেকট্রনগুলিকে আকর্ষণ করিয়া স্পেস-চার্জের ফলাফলকে কমাইয়া দিবে এবং প্লেট-প্রবাহ বৃদ্ধিতে সহায়তা করিবে। বিপরীতক্রমে, প্লেটের কোন নির্দিষ্ট ধনাত্মক বিভবে গ্রিড্‌কে ফিলামেন্টের সাপেক্ষে ঋণাত্মক বিভব দিলে ইহা ইলেকট্রনগুলিকে বিকর্ষণ করিবে এবং

স্পেস-চার্জের ফলাফল বৃদ্ধি করিয়া প্লেট-প্রবাহকে কমাইয়া দিবে। ফলে গ্রিডের বিভব বাড়াইয়া বা কমাইয়া প্লেট-প্রবাহকে বাড়ানো বা কমানো যায়। তাহাছাড়া একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে গ্রিডের বিভব সামান্য কমাইলে বা বাড়াইলে প্লেট্-প্রবাহের অনেক পরিবর্তন হয়—শুধুমাত্র প্লেট-বিভব বাড়াইয়া বা কমাইয়া অনুরূপ প্লেট-প্রবাহের পরিবর্তন করিতে প্লেট-বিভব অনেকগুণ বাড়াইতে বা কমাইতে হইবে (অনুচ্ছেদ 2.3a)। গ্রিড্ তারজালির মত হওয়ায় ইহাতে বেশী সংখ্যায় ইলেকট্রন জমা হইতে পারে না, ফলে, গ্রিড্-বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা খুবই কম হয়।

বিবর্ধকরূপে ট্রায়োডের ব্যবহার (Use of a triode as an amplifier) :

ট্রায়োডের বহুবিধ ব্যবহারের মধ্যে বিবর্ধকরূপে ইহার ব্যবহারের নীতি এখানে আলোচিত হইবে। পূর্বেই বলিয়াছি, ট্রায়োডের গ্রিডে বিভব সামান্য



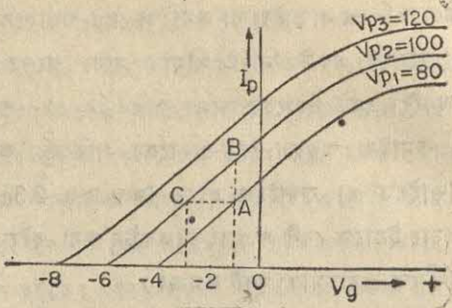
চিত্র 2.9

বাড়াইলে প্লেট-প্রবাহ অনেক বাড়িয়া যায়। বিবর্ধকরূপে ট্রায়োড ভাল্ভের ইহাই হইল কার্যনীতি। চিত্র 2.9 হইতে ট্রায়োডের এইরূপ ব্যবহার বিধি বুঝা যাইবে।

চিত্রে প্লেট-বর্তনী ও ফিলামেন্ট-বর্তনী ডায়োডের মতই। একটি অপেক্ষাকৃত কম ভোল্টেজের ব্যাটারী গ্রিড ও ফিলামেন্টের সহিত যুক্ত থাকে। ইহাকে গ্রিড্ বায়াস্ ব্যাটারী (grid bias battery) বলে। এই ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্ত গ্রিডের সহিত এবং ধনাত্মক প্রান্ত ফিলামেন্টের সহিত যুক্ত। ফলে ফিলামেন্ট সাপেক্ষে গ্রিড্‌কে বিভিন্ন ঋণাত্মক বিভব দেওয়া যায়। ইহার প্রান্তদ্বয় উল্টাইয়া প্রয়োজনমত গ্রিড্‌কে আবার ধনাত্মক বিভবও দেওয়া যাইতে পারে।

প্লেট-ভোল্টেজ (V_p) স্থির রাখিয়া গ্রিড্-ভোল্টেজ (V_g) পরিবর্তনে প্লেট-প্রবাহের (I_p) কিরূপ পরিবর্তন হয় তাহা লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। ট্রায়োডের এইরূপ লেখগুলিকে **পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য লেখ** (Mutual

characteristics) বলে। ইহাদের প্রকৃতি হইতেই বিবর্ধকরূপে ট্রায়োড-ভাল্‌ভের ভূমিকা নির্ধারণ করা যায়। 2.10 চিত্রে এইরূপ কয়েকটি লেখ দেখানো হইল। প্লেট-ভোল্টেজ বিভিন্ন মানে (Vp_1, Vp_2, $Vp_3 \cdots$ $Vp_3 > Vp_2 > Vp_1$ *etc.*) …স্থির রাখিয়া বিভিন্ন



চিত্র 2.10

ধনাত্মক ও ঋণাত্মক গ্রিড্‌-ভোল্টেজে প্লেট-প্রবাহের মান মিলি-অ্যাম্মিটার (mA) হইতে জানিয়া লেখগুলি অঙ্কন করা হয়।

লেখগুলি পর্যালোচনা করিলে দেখা যায় যে প্লেট-ভোল্টেজের কোন মানে ঋণাত্মক গ্রিড-ভোল্টেজ দিলে প্লেট-প্রবাহ কম হয় এবং অবশেষে গ্রিড্‌-ভোল্টেজের কোন ঋণাত্মক মানে (যেমন, -4, -6, -8, ইত্যাদি) প্লেট-প্রবাহ পাওয়া যায় না। ইহার কারণ এই অবস্থায় ইলেক্ট্রনগুলি এমনভাবে গ্রিড্‌ কর্তৃক বিকর্ষিত হয় যে উহারা মোটেই প্লেটে পৌঁছাইতে পারে না। গ্রিড্‌-ভোল্টেজের ঐ মানকে **ছেদ-বিন্দু** (cut-off point) বলে। আবার গ্রিড্‌-ভোল্টেজ ধনাত্মক হইলে ইহা ইলেকট্রনগুলিকে আকর্ষণ করে এবং ফলে প্লেট-প্রবাহ বৃদ্ধি পাইতে থাকে। অবশেষে উহা সংপৃক্ত মান পাইয়া V_g অক্ষের সমান্তরাল হইয়া পড়ে। প্লেট-ভোল্টেজ বাড়াইয়া স্থির রাখিলে অনুরূপ একাধিক লেখ পাওয়া যায় এবং দেখা যায় যে, প্লেট-ভোল্টেজ বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে প্লেট-প্রবাহও বৃদ্ধি পাইতেছে। ইহার কারণ স্পেস্‌-চার্জ ফলাফল ধীরে ধীরে কমিয়া যায়।

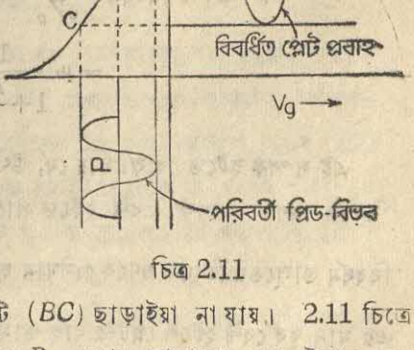
অতএব দেখা যাইতেছে যে, প্লেট-ভোল্টেজ এবং গ্রিড্‌-ভোল্টেজ উভয়ই বৃদ্ধি পাইলে প্লেট-প্রবাহ বৃদ্ধি পায়। প্লেট-প্রবাহ নির্ধারণ করিতে এই দুই ভোল্টেজ পরিবর্তনের পারস্পরিক সম্পর্কই ভাল্‌ভের বিবর্ধন নির্দেশ করে। ভাল্‌ভের এই বিবর্ধন নির্দেশকারী রাশিকে বিবর্ধন গুণক (amplification factor) বলে। ইহার সংজ্ঞা হইল নিম্নরূপ :

একই পরিমাণ প্লেট-প্রবাহ পরিবর্তন সংঘটিত করিতে প্লেট-বিভব ও গ্রিড্‌-বিভবের পৃথকভাবে যে পরিবর্তন প্রয়োজন, তাহাদের অনুপাতকে বিবর্ধন-গুণক (μ) বলা হয়।

$$\therefore \text{ বিবর্ধন গুণক, } \mu = \left(\frac{\delta V_p}{\delta V_g}\right)_{I_p = const.}$$

উদাহরণ স্বরূপ, 2.10 চিত্রের $Vp_1=80$ এবং $Vp_2=100$ ভোল্টের লেখ দুইটি ধরা যাক্। A বিন্দুতে গ্রিড্-বিভব $-1V$-এ স্থির রাখিয়া AB পরিমাণ প্লেট-প্রবাহ বৃদ্ধি করিতে প্লেট-বিভব $(100-80)=20$ ভোল্ট বাড়াইতে হইবে। সেক্ষেত্রে প্লেট-বিভব 100 ভোল্টে স্থির রাখিয়া C বিন্দু হইতে B পৌছাইলেও AB পরিমাণ প্লেট-প্রবাহ বৃদ্ধি পাইবে এবং ইহা করিতে হইলে গ্রিড্-বিভব $C\ (-3V)$ হইতে $B(-1V)$ বিন্দুতে পরিবর্তন অর্থাৎ -3 হইতে $-1(=2V)$ বৃদ্ধি করিতে হইবে।

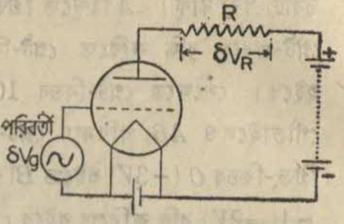
অতএব দেখা যাইতেছে, একই প্লেট-প্রবাহ দুই রকমে পাওয়া যায়—প্লেট-বিভব 20 ভোল্ট বাড়াইয়া বা গ্রিড্-বিভব 2 ভোল্ট বাড়াইয়া। অতএব, $\delta V_p=20$ এবং $\delta V_g=2$; এবং সংজ্ঞানুসারে, $\mu=\frac{\delta V_p}{\delta V_g}=\frac{20}{2}=10.$ অতএব দেখা যাইতেছে, সামান্য গ্রিড্-বিভব পরিবর্তন করিয়া যে পরিমাণ প্লেট-প্রবাহ পাওয়া যায় তাহা অপেক্ষা অনেকগুণ বেশী প্লেট-বিভব পরিবর্তন করিলে সমপরিমাণ প্লেট-প্রবাহ পাওয়া যায়। বিবর্ধকরূপে ট্রায়োডের ইহাই হইল কার্যনীতি। চিত্র 2.10 হইতে বোঝা যায় যে, ট্রায়োডের এরূপ ব্যবহারে পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য লেখের একমাত্র ঋজু অংশে কাজ করিতে হইবে।



চিত্র 2.11

গ্রিডে কোন পরিবর্তী প্রবাহ দিলে 2.11 লেখচিত্রের সাহায্যে বিবর্ধিত পরিবর্তী প্লেট-প্রবাহের প্রকৃতি জানা যায়। এই উদ্দেশ্যে একটি পারস্পরিক বৈশিষ্ট্য লেখর ঋজু অংশের মধ্যবিন্দু, A-কে মনোনীত করা হইল এবং গ্রিডে A বিন্দু অনুযায়ী এমন এক পরিবর্তী বিভব দেওয়া হইল যাহাতে ইহার বিস্তার (amplitude) বৈশিষ্ট্য-লেখর ঋজু অংশটি (BC) ছাড়াইয়া না যায়। 2.11 চিত্রে গ্রিডে প্রযুক্ত পরিবর্তী ভোল্টেজ P লেখর সাহায্যে এবং ইহার জন্য প্লেটে উৎপন্ন বিবর্ধিত প্লেট-প্রবাহ Q লেখর সাহায্যে দেখানো হইল। চিত্র হইতে গ্রিড্-ভোল্টেজ ও প্লেট-প্রবাহের তরঙ্গদ্বয় (P ও Q) তুলনা করিলে

সহজেই বুঝা যায় যে, বৈশিষ্ট্য-লেখর ঋজু অংশ CAB যত খাড়া হইবে প্লেট-প্রবাহ তত বৃদ্ধি পাইবে।



চিত্র 2.12

ট্রায়োডের উপরোক্ত ব্যবহারে ইহার প্লেট-বর্তনীতে একটি উচ্চমানের রোধ, R অন্তর্ভুক্ত করিতে হয় (চিত্র 2.12)। গ্রিডে প্রযুক্ত পরিবর্তী (δV_g)-এর জন্য যদি প্লেট-প্রবাহের পরিবর্তন δI_p হয়, তবে রোধ, R-এর প্রান্তদ্বয়ে বিভব-পরিবর্তন, $\delta V_R = R.\delta I_p$ হইবে।

$$\therefore \text{ উৎপন্ন বিবর্ধন,} = \frac{\delta V_R}{\delta V_g} = \frac{R.\delta I_p}{\delta V_g}.$$

এখন ট্রায়োডের বিবর্ধন গুণকের (μ) সংজ্ঞা অনুসারে,

$\mu = \frac{\delta V_p}{\delta V_g}$ বা $\delta V_p = \mu \delta V_g$, অর্থাৎ δV_g গ্রিড্-ভোল্টেজ পরিবর্তনে প্লেট-ভোল্টেজ পরিবর্তন, $\delta V_p = \mu \delta V_g$ হয়। এই প্লেট-ভোল্টেজ পরিবর্তন বহিঃ-রোধ, R ও প্লেট-রোধ (plate resistance) R_p* উভয়ের প্রান্তে ক্রিয়া করিবে। অতএব, $\delta V_p = (R + R_p)\, \delta I_p$

$$\text{অর্থাৎ, } \delta V_p = \mu \delta V_g = (R + R_p)\, \delta I_p$$

$$\text{বা } \delta I_p = \frac{\mu \delta V_g}{R + R_p}$$

$$\therefore \text{ উৎপন্ন বিবর্ধন} = \frac{R \delta I_p}{\delta V_g} = \frac{\mu.R.\delta V_g}{(R + R_p)\, \delta V_g} = \frac{\mu.R}{R + R_p}$$

$$= \mu.\frac{1}{1 + \frac{R_p}{R}}.$$

এই সম্পর্ক হইতে বোঝা যায় যে, উৎপন্ন ভোল্টেজ বিবর্ধন কখনো ভাল্‌ভের বিবর্ধন গুণক অপেক্ষা বেশী হইতে পারে না। যখন $R = \infty$, তখন ভোল্টেজ বিবর্ধন ভাল্‌ভের বিবর্ধন গুণকের সমান হয় $\left(\text{কারণ তখন, } \frac{R_p}{R} = O\right)$। কিন্তু R-এর মান খুব বেশী হইলে প্লেট-প্রবাহ কমিয়া যায়, সেজন্য সাধারণতঃ R-এর মান

---

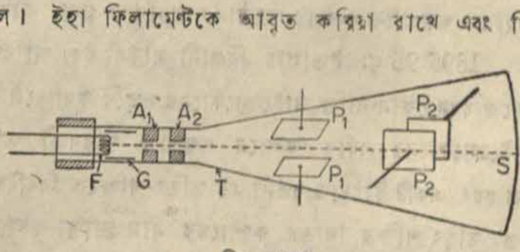
* $R_p = \left(\frac{\delta V_p}{\delta I_p}\right)_{V_g = const.}$ ইহাকে প্লেট-রোধ বলে এবং ইহা μ-এর ন্যায় ট্রায়োডের অন্য একটি ধ্রুবরাশি।

R_p-এর সমান রাখা হয় এবং তখন উপরের সম্পর্ক হইতে ভোল্টেজ বিবর্ধন $=\frac{\mu}{2}$ হয়।

2.3. ক্যাথোড-রশ্মি অসিলোগ্রাফ (Cathode-ray oscillograph) :

বায়ুশূন্য নলে ইলেকট্রন-প্রবাহকে কাজে লাগাইয়া কোন ক্ষণস্থায়ী ঘটনাকে পর্যবেক্ষণ করার জন্য ক্যাথোড-রশ্মি অসিলোগ্রাফ বা ক্যাথোড-রে টিউব ব্যবহৃত হয়। ক্যাথোড-রশ্মি কোন তড়িৎ বা চৌম্বকক্ষেত্রে বিক্ষিপ্ত (deflect) হয় এবং কোন প্রতিপ্রভ পর্দায় প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে—এই দুই ধর্ম অবলম্বনে এই যন্ত্র নির্মিত হইয়াছে। বিভিন্ন পর্যাবৃত্ত ঘটনা (periodic)—যেমন, পরিবর্তী প্রবাহ, শব্দতরঙ্গ, সরল দোলগতি প্রভৃতি পর্যালোচনার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়।

বর্ণনা : চিত্রে (চিত্র 2.13) T একটি ক্যাথোড-রশ্মি নল, ইহার মধ্যে F ফিলামেন্ট (টাংস্টেন বা প্লাটিনামের তৈরী) হইতে ক্যাথোড-রশ্মি নির্গত হয়। তড়িৎপ্রবাহে ফিলামেন্টকে উত্তপ্ত করা হয়। G একটি চোঙ, ইহাকে গ্রিড্ বলে। ইহা ফিলামেন্টকে আবৃত করিয়া রাখে এবং ফিলামেন্টের



চিত্র 2.13

সাপেক্ষে ইহাকে ঋণাত্মক বিভব দেওয়া হয়। ফলে ইহা ইলেকট্রন-স্রোতকে সূক্ষ্ম রশ্মির আকার দেয়। A_1, A_2 দুইটি চাকতি এবং ইহাদের মধ্যস্থলে ক্ষুদ্র ছিদ্র আছে। ফিলামেন্টের সাপেক্ষে ইহাদের ধনাত্মক বিভব (500 হইতে 2,000 ভোল্ট) দেওয়া হয়। এজন্য ইহাদের অ্যানোড বলে। A_2-এর বিভব A_1 অপেক্ষা কয়েকগুণ বেশী থাকে। ইহাদের প্রভাবে ইলেকট্রন-স্রোত একটি নির্দিষ্ট বেগে অভিসারী রশ্মিরূপে ইহাদের ছিদ্র দিয়া নির্গত হয়। P_1 P_1 দুইটি সমান্তরাল অনুভূমিক প্লেট। ইহারা উল্লম্ব তলে তড়িৎক্ষেত্রে প্রয়োগ করিয়া কেন্দ্রীভূত ইলেকট্রন-রশ্মির উল্লম্ব তলে বিক্ষেপ ঘটায়। অনুরূপে, P_2 P_2 দুইটি উল্লম্ব প্লেট—ইহারা অনুভূমিক তলে তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করিয়া ইলেকট্রন-রশ্মির অনুভূমিক তলে বিক্ষেপ ঘটায়। P_1 P_1 কে

অনেক সময় Y-প্লেট ও P_2 P_2 কে X-প্লেট বলা হয়। S একটি প্রতিপ্রভ পর্দা। ইহার উপর ইলেকট্রন-রশ্মি আসিয়া পড়িলে প্রতিপ্রভার সৃষ্টি হয়।

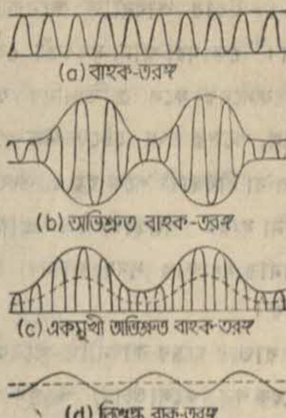
কার্যপ্রণালী : ফিলামেণ্ট হইতে ইলেকট্রন-স্রোত গ্রিড, G ও অ্যানোড A_1 ও A_2 দ্বারা কেন্দ্রীভূত হইয়া প্রতিপ্রভ পর্দা, S-এর উপর একটি আলোক-বিন্দু সৃষ্টি করে। Y বা X প্লেটে কোন পরিবর্তী বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করিলে ইলেকট্রন-রশ্মি পর্দার উপর একটি উল্লম্ব বা অনুভূমিক রেখার সৃষ্টি করিবে। যদি একই সঙ্গে X ও Y-প্লেটে পরিবর্তী বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করা হয় তবে ইলেকট্রন-রশ্মি লব্ধগতি পাইবে এবং পর্দায় নানা আকারের রেখাচিত্র দেখা যাইবে।

ক্যাথোড-রে টিউবের বহুল ব্যবহারের মধ্যে রাডার ও টেলিভিশন যন্ত্রে ইহার ব্যবহার বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।

2.4. রেডিও, রাডার ও টেলিভিশন যন্ত্রের কার্যনীতি (Principles of radio, radar and television) **:**

(A) **রেডিও :** রেডিওতে তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের সাহায্যে পৃথিবীর একপ্রান্ত হইতে অন্যপ্রান্তে বেতার অনুষ্ঠান সম্প্রচার ও গ্রহণ করিবার ব্যবস্থা করা হয়। 1895-96 খৃঃ ইতালীয় বিজ্ঞানী মার্কনী ইহা আবিষ্কার করেন। বেতারকেন্দ্রে যখন কোন ব্যক্তি মাইক্রোফোনের সম্মুখে কথা বলে বা গান গায় তখন মাইক্রোফোনের পর্দার কম্পনে শব্দশক্তি পরিবর্তী তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। একটি ট্রায়োড-বর্ধনী এই তড়িৎ-শক্তিকে বিবর্ধিত করে। এই রূপান্তরিত তড়িৎ-শক্তির বিভিন্ন কম্পাঙ্কের নাম **শ্রাব্য-কম্পাঙ্ক** (audio-frequencies)। এই শ্রাব্য-কম্পাঙ্কের তড়িৎ-তরঙ্গকে এককভাবে ঈথার (Ether) মাধ্যমের মধ্য দিয়া স্থানান্তরে প্রেরণ করা যায় না—ইহাকে দূরবর্তী গ্রাহক স্টেশনে বহন করিবার জন্য **বাহকের** (Carrier) প্রয়োজন হয়। এই বাহক-তরঙ্গ হইল উচ্চ কম্পাঙ্কের এবং স্থির বিস্তারের তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ (চিত্র 2.14a)। কোন ট্রায়োড ভাল্‌ভকে স্পন্দক (Oscillator) রূপে ব্যবহার করিয়া এই বাহক-তরঙ্গ সৃষ্টি করা হয়। ট্রায়োডে এক L-C বর্তনী যুক্ত করিয়া এক উচ্চ-কম্পাঙ্কের স্পন্দন সৃষ্টি করা হয় এবং অন্য এক ট্রায়োড-বর্তনীর সাহায্যে এই স্পন্দন বিবর্ধিত করা হয়। এই বিবর্ধিত বাহক-তরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 10 হইতে 500 মিটার পর্যন্ত এবং কম্পাঙ্ক 600 Kilo-cycles হইতে 30 Mega-cycles পর্যন্ত হয়। শ্রাব্য-কম্পাঙ্কের তড়িৎ-তরঙ্গ তথা বাক্-তরঙ্গ (Speech wave)-কে বহন করিবার জন্য ইহাকে এই বাহক-তরঙ্গের

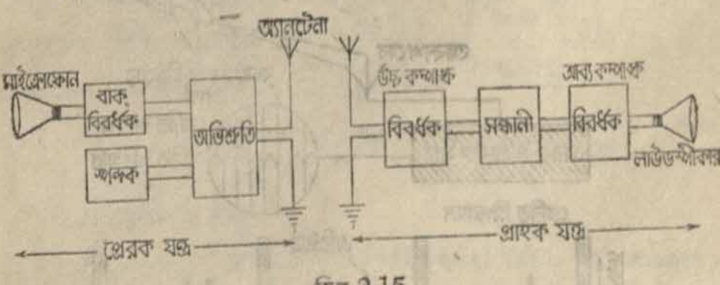
উপর চাপানো হয়। এই পদ্ধতির নাম **মডিউলেশান** (modulation) বা **অভিশ্রুতি**। অভিশ্রুতির পর অভিশ্রুত বাহক-তরঙ্গ (modulated carrier waves) তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের আকারে প্রেরক-স্টেশনের অ্যানটেনার সাহায্যে ঈথার মাধ্যমে ছড়াইয়া পড়ে (চিত্র 2.14b)। ইহা তখন আলোকের গতিবেগে চতুর্দিকে ধাবিত হয় এবং পৃথিবী-বেষ্টনকারী তড়িৎ-পরিবাহী **আয়ন-মণ্ডলে** (ionosphere) প্রতিফলিত হইতে হইতে অবশেষে কোন গ্রাহক-স্টেশনের অ্যারিয়েল (aerial) বা আকাশ-তারে পৌছায়।



চিত্র 2.14

গ্রাহক স্টেশনে অ্যারিয়েলের মাধ্যমে এই বেতার-তরঙ্গকে গ্রহণ ও প্রচারের ব্যবস্থা থাকে।

প্রথমতঃ *L-C* বর্তনীযুক্ত কোন ট্রায়োড ইহাকে বিবর্ধিত করে এবং পরে ডিটেকটর (Detector) বা **সন্ধানী** হিসাবে ব্যবহৃত কোন ডায়োড বা ট্রায়োড-বর্তনীর সাহায্যে ইহাকে একমুখী করিয়া (চিত্র 2.14c) অভিশ্রুত বাহক-তরঙ্গ



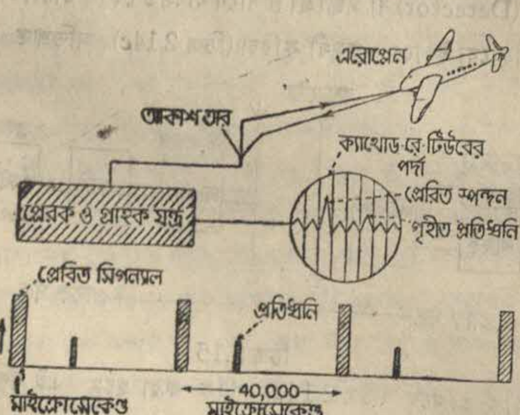
চিত্র 2.15

হইতে বাক্-তরঙ্গকে (চিত্র 2.14d) পৃথক করা হয়। এই পদ্ধতিকে **ডিমডিউলেশন** (Demodulation) বলে। এই বিশুদ্ধ বাক্-তরঙ্গ অন্য একটি ট্রায়োড-বর্তনীতে বিবর্ধিত হইয়া গ্রাহক-স্টেশনের লাউড-স্পীকারকে সক্রিয় করে এবং প্রেরক-স্টেশনের অনুষ্ঠানের পুনরাবৃত্তি ঘটায়।

রেডিওতে বেতার-তরঙ্গের সম্প্রচার ও গ্রহণ-পদ্ধতি এখানে দেখানো হইল (চিত্র 2.15)।

(*B*) **রাডার :** রাডারে যান্ত্রিক-ব্যবস্থায় বেতার-তরঙ্গের সাহায্যে বহুদূরবর্তী (এরোপ্লেন প্রভৃতি) বস্তুর সঠিক অবস্থান ও দূরত্ব জানিতে পারা যায়। ইহার কার্যনীতি অনেকটা শব্দ-তরঙ্গের প্রতিধ্বনির সঙ্গে তুলনা করা চলে। তোমরা জান, দূরবর্তী কোন প্রতিফলকের তল হইতে শব্দ-তরঙ্গের প্রতিফলনের ফলে প্রতিধ্বনির সৃষ্টি হয়। এই প্রতিধ্বনি স্পষ্টভাবে শুনিতে হইলে, শব্দের উৎস হইতে উচ্চ-প্রাবল্যের ও ক্ষণস্থায়ী শব্দ সৃষ্টি করিতে হয়। দুর্বল বা দীর্ঘস্থায়ী শব্দে হয় প্রতিধ্বনির সৃষ্টি হয় না, নয় একটানা প্রতিধ্বনি শোনা যায়। স্বল্পস্থায়ী উচ্চ প্রাবল্যের মূল শব্দ সৃষ্টি ও ইহার প্রতিধ্বনি শোনার মধ্যকার সময় জানিয়া আমরা প্রতিফলকের দূরত্ব নির্ণয় করিতে পারি।

রাডার-যন্ত্রের কার্যনীতি অনেকটা একই ধরণের। ইহাতে খুব শক্তিশালী (কয়েকশত কিলোওয়াট) ও খুব ক্ষণস্থায়ী (সেকেণ্ডের দশলক্ষ ভাগের কয়েক ভাগ স্থায়ী) তড়িচ্চুম্বকীয় স্পন্দন (pulses) ব্যবহৃত হয়। তাপীয় আয়ন ভাল্‌ভ বর্তনীতে *L-C* বর্তনী যুক্ত করিয়া অতি উচ্চ কম্পাঙ্কের (10^7 হইতে 10^{10} cycles/sec) তড়িচ্চুম্বকীয় স্পন্দন সৃষ্টি করা হয়। এইরূপ স্পন্দনকে সঠিকভাবে $\frac{1}{25}$ সেকেণ্ড (দূরত্ব বেশী হইলে) হইতে $\frac{1}{8000}$ সেকেণ্ড (দূরত্ব কম

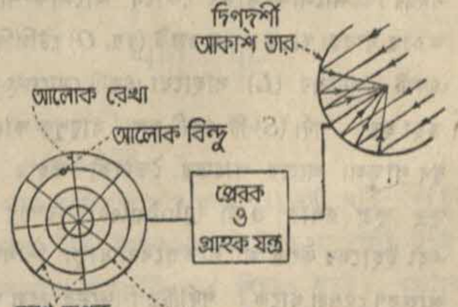


চিত্র 2.16

হইলে) অন্তর অন্তর ছাড়া হয়। একটি উপযুক্ত প্রেরক-যন্ত্রের সাহায্যে ইহা করা হয়—প্রেরক-যন্ত্রটি প্রতি এক মাইক্রো-সেকেণ্ড (10^{-4} সেকেণ্ড) কার্যকরী থাকে এবং পরবর্তী $\frac{1}{25}$ সেকেণ্ড (বা 40,000 মাইক্রো-সেকেণ্ড) নিষ্ক্রিয়

থাকে। এই তরঙ্গ আলোকের গতিবেগে চতুর্দিকে ধাবিত হয় ও দূরবর্তী পরিবাহী বস্তুর গায়ে ধাক্কা খাইয়া কিছুটা প্রতিফলিত হয়। প্রেরক-যন্ত্রের নিষ্ক্রিয়তার সময় প্রতিফলিত বেতার-স্পন্দন গ্রাহক-যন্ত্রের (নিষ্ক্রিয় প্রেরক-যন্ত্রই এখন গ্রাহক-যন্ত্র) আকাশ-তারে (aerial) ধরা পড়ে এবং গ্রাহক-বর্তনী (বা প্রেরক-বর্তনী)-তে সংযুক্ত একটি ক্যাথোড-রশ্মি অসিলোগ্রাফের পর্দায় মূল বেতার-স্পন্দন ও প্রতিফলিত বেতার-স্পন্দন উভয়ই তরঙ্গের আকারে ফুটিয়া উঠে। ফলে মূল বেতার-স্পন্দন ও প্রতিফলিত বেতার-স্পন্দনের মধ্যকার সময় জানিয়া বস্তুটির দূরত্ব জানা যায়। অসিলোগ্রাফের পর্দার উপর অঙ্কিত একটি স্কেল হইতেই সোজাসুজি এই দূরত্বের মাপ পাওয়া যায়। চিত্র 2.16-তে রাডারের এইরূপ ব্যবহার ব্লকচিত্রের সাহায্যে দেখানো হইল।

বস্তুর অভিমুখ জানার জন্য দিগ্‌দর্শী আকাশ-তার ব্যবহৃত হয়। ইহা দেখিতে অনেকটা উল্টানো ছাতার ন্যায় এবং ইহার কোকাসে আকাশ-তারের প্রান্ত অবস্থিত (চিত্র 2.17)। ইহাকে বিভিন্ন দিকে ঘুরাইবার ব্যবস্থা থাকে। প্রতিফলিত স্পন্দন আকাশ-তারে কেন্দ্রীভূত হইয়া গ্রাহক-যন্ত্রের অসিলোগ্রাফে ধরা পড়ে। আকাশ-তারের ঘূর্ণনের সঙ্গে সঙ্গে অসিলোগ্রাফের পর্দায় একটি আলোক-রেখা (ব্যাসার্ধের ন্যায়) ঘুরিতে থাকে এবং দূরবর্তী কোন বস্তু হইতে প্রতিফলিত সিগন্যাল



চিত্র 2.17

আসিলে, এই রেখার উপর একটি আলোকবিন্দু ফুটিয়া উঠে। অসিলোগ্রাফের পর্দার উপর কতকগুলি দূরত্বমাপক বৃত্ত ও কোন মাপক-রেখার (চিত্র 2.17) অবস্থানের সহিত এই আলোকবিন্দুর অবস্থানের তুলনা করিয়া প্রতিফলকের অভিমুখ ও দূরত্ব সঠিকভাবে জানা যায়।

বিমানবন্দরে এরোপ্লেন ওঠা-নামায় সহায়তা করার জন্য যে রাডার-যন্ত্র ব্যবহৃত হয়, তাহাতে দুইটি দিগ্‌দর্শী আকাশ-তার থাকে। ইহাদের একটি অনুভূমিক তলে ও অন্যটি উল্লম্বতলে কার্যকরী থাকে এবং এইভাবে প্লেনকে ত্রিমাত্রিক দেশে (three dimentional space) উঠা-নামায় সহায়তা করে।

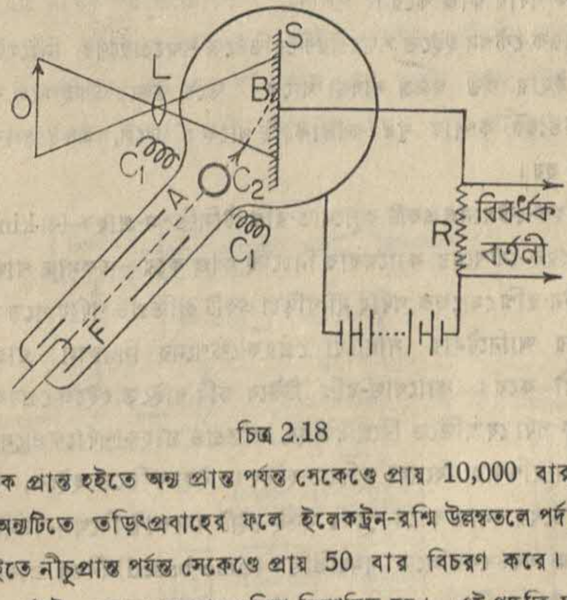
(C) টেলিভিশন :

টেলিভিশন যন্ত্রে গতিশীল বস্তুসমূহের চিত্র দূরবর্তী স্থানে প্রেরণ করিবার ও চিত্রগুলি গতিশীল অবস্থায় পুনঃ প্রদর্শন করিবার ব্যবস্থা থাকে। এই যন্ত্রের কার্যনীতি নিম্নলিখিত তিনটি ভাগে বিভক্ত। যথা—(*i*) যে বস্তুকে টেলিভিশন-যন্ত্রে দেখাইতে হইবে, তাহাকে তীব্র ও সূক্ষ্ম আলোক-রশ্মি দ্বারা বিশ্লেষণ (scanning) করা; (*ii*) বিশ্লিষ্ট বস্তু হইতে উদ্ভূত আলোক-স্পন্দনকে তড়িৎ-স্পন্দনে রূপান্তরিত করা এবং (*iii*) এই তড়িৎ-স্পন্দনকে পুনরায় আলোক-স্পন্দনে রূপান্তরের মাধ্যমে মূল বস্তুটির পুনঃ সৃষ্টি করা। টেলিভিশন প্রেরক-যন্ত্রে প্রথম দুইটি বিষয় এবং গ্রাহক-যন্ত্রে শেষোক্ত বিষয়টি সংঘটিত হয়।

প্রেরক-ষ্টেশনে একটি বিশেষ ধরনের ক্যামেরা (emitron camera বা iconoscope)-র সাহায্যে বিশ্লেষণী কার্য সম্পাদিত হয়। 2.18 চিত্রে এরূপ একটি ক্যামেরা দেখানো হইল। ইহা বাস্তবে একটি ক্যাথোড-রশ্মি অসিলোস্কোপ ও একটি আলোক-তড়িৎ কোষের (photo-electric cell) সমন্বয়। আলোক-তড়িৎ কোষে আলোক-শক্তিকে তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তর করার ব্যবস্থা থাকে। যে বস্তুটি (ধর, *O*) টেলিভিশনে দেখানো হইবে তাহাকে একটি লেন্সের (*L*) সাহায্যে একটি মোজেক্ (mosaic) পর্দায় (*S*) ফোকাস করা হয়। পর্দা (*S*)-টি একটি সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য কাচের কুণ্ডে থাকে। ইহা একটি খুব পাতলা অভ্রের পাতের তৈয়ারী—ইহার সামনের দিকের তলে অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র রূপার গুঁড়া (globules) পরস্পর হইতে বিচ্ছিন্ন অবস্থায় থাকে এবং ইহাদের উপর আলোকসুবেদী ধাতু, সিসিয়াম্ (caesium)-এর পাতলা আস্তরণ দেওয়া থাকে। পর্দাটির পিছনের তলে অন্য এক ধাতব আস্তরণ দেওয়া থাকে—ইহাকে সিগন্যাল পাত (signal plate) বলে।

রূপার প্রত্যেকটি গুঁড়া সিগন্যাল পাতের সমন্বয়ে এক একটি ক্ষুদ্র ধারকের কাজ করে—অভ্রের পাতটি ইহাদের পরাবৈদ্যুতিক। এখন বস্তুটিকে মোজেক্ পর্দায় ফোকাস করিলে, ইহার উপরের প্রত্যেকটি রূপার গুঁড়ার উপর বস্তুটির অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র আলোকিত ও অন্ধকার অংশ আপতিত হইবে এবং বিভিন্ন আলোক-তড়িৎ কোষের উপর আপতিত আলোক-রশ্মির পরিমাণ বিভিন্ন হওয়া ইহাদের প্রত্যেকটি হইতে নিঃসরিত ইলেকট্রনের পরিমাণ ইহাদের উপর আপতিত আলোকপ্রাবল্যের সমানুপাতিক হইবে। ইলেকট্রন নিঃসরিত হওয়ায় প্রত্যেকটি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ধারক ধনাত্মক তড়িতাহিত হইবে এবং ইহাদের ধারকত্বের পরিমাণ ইহাদের উপর আপতিত আলোক-রশ্মির সমানুপাতিক হইবে।

প্রতিপ্রভ পর্দাবিহীন একটি ক্যাথোড-রশ্মি অসিলোগ্রাফের বিভিন্ন অংশগুলি একটি পার্শ্বনলে সাজানো থাকে এবং নলটি কুণ্ডের সহিত সংযুক্ত (চিত্র 2.18)। অসিলোগ্রাফ হইতে ইলেকট্রন স্রোত সূক্ষ্ম অথচ শক্তিশালী রশ্মির আকারে মোজেক্ পর্দার উপর পড়ে। অসিলোগ্রাফের গলার নিকটে দুইটি সমকোণী তড়িৎ-কুণ্ডলী (C_1 ও C_2)-র তড়িৎপ্রবাহ ইলেকট্রন-রশ্মির বিক্ষেপ ঘটাইয়া ইহাকে বিশ্লেষণী-রশ্মিতে পর্যবসিত করে। ইহাদের একটিতে তড়িৎপ্রবাহের প্রভাবে ইলেকট্রন-রশ্মি মোজেক পর্দার উপর অনুভূমিকভাবে



চিত্র 2.18

ইহার এক প্রান্ত হইতে অন্য প্রান্ত পর্যন্ত সেকেণ্ডে প্রায় 10,000 বার বিচরণ করে—অন্যটিতে তড়িৎপ্রবাহের ফলে ইলেকট্রন-রশ্মি উল্লম্বতলে পর্দার উপর-প্রান্ত হইতে নীচুপ্রান্ত পর্যন্ত সেকেণ্ডে প্রায় 50 বার বিচরণ করে। এভাবে মোজেক পর্দাটি সেকেণ্ডে বহুবার ধরিয়া বিশ্লেষিত হয়। এই পদ্ধতি চলাকালে ইলেকট্রন-রশ্মি রূপার গুঁড়াগুলির উপর দিয়া যাতায়াত করে এবং সেগুলিতে পরিমাণমত ইলেকট্রন দান করিয়া উহাদের ধনাত্মক তড়িতাধানকে প্রশমিত করে। তড়িতাধানের এই পরিবর্তন ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র তড়িৎ-স্পন্দনের আকারে সিগন্যাল পাতের মাধ্যমে একটি স্পন্দকে (oscillator)-এ পৌছে এবং সেখান হইতে প্রেরক-যন্ত্রের (transmitter) সাহায্যে তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের আকারে ছড়াইয়া পড়ে।

উপরোক্ত পদ্ধতিতে কার্যকরী টেলিভিশন প্রেরক-যন্ত্রের নানা দোষ-ত্রুটি থাকায় পরবর্তী কালে ইহার বহু উন্নতি সাধন করা হইয়াছে। অর্থো-আইকনোস্কোপ বা অর্থিকন (ortho-iconoscope বা orthicon) নামক প্রেরক-

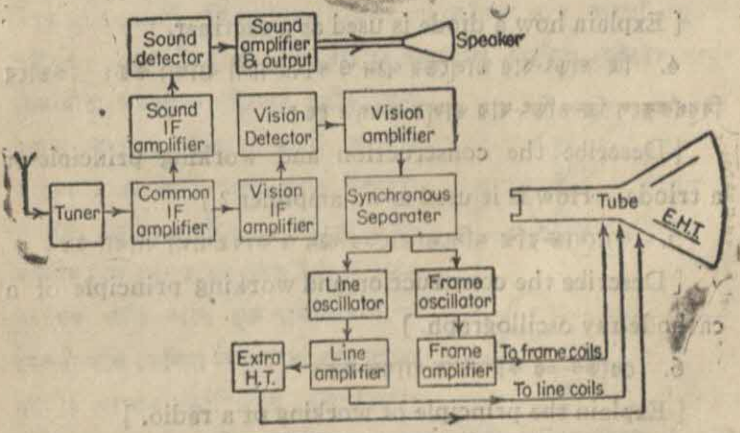
যন্ত্রে কম গতিসম্পন্ন ইলেকট্রন-রশ্মির সাহায্যে মোজেক্ পর্দাকে বিশ্লেষণ করিয়া এই ইলেকট্রনগুলিকেই সোজাসুজি তড়িৎ-স্পন্দন সৃষ্টিতে কাজে লাগানো হয়। এই পদ্ধতিতে মোজেক পর্দা হইতে দ্বিতীয় পর্যায়ের ইলেকট্রন বিকিরণ (secondary electron emission) হ্রাস পায়। অত্যাধুনিক প্রেরক-যন্ত্র (image orthicon)-এ আবার দুইটি তড়িৎ-দ্বার সংযুক্ত করা হইয়াছে—একটির নাম ফটো-ক্যাথোড (photo-cathode) এবং দ্বিতীয়টি হইল একটি বিশেষ ধরনের তৈরী অ্যানোড বা টার্গেট (target)। এই দুইটি একত্রে মোজেক পর্দার কাজ করে।

প্রেরক-স্টেশন হইতে শব্দপ্রেরণ রেডিওতে শব্দপ্রেরণের নিয়মেই সংঘটিত হয়। ইহার জন্য স্বতন্ত্র ব্যবস্থা থাকে। তবে, উভয়ে একই সঙ্গে কাজ করে এবং উভয়ের কম্পাঙ্ক খুব কাছাকাছি থাকে। ফলে, একই আকাশ-তার ব্যবহৃত হয়।

গ্রাহক-স্টেশনেও একটি ক্যাথোড-রশ্মি টেলিভিশন-গ্রাহক (বা kinoscope) যন্ত্র প্রেরক-স্টেশনের ক্যামেরার নিয়মেই কাজ করে—একমাত্র পার্থক্য হইল, ইলেকট্রন-রশ্মি মোজেক পর্দায় না পড়িয়া একটি প্রতিপ্রভ পর্দায় পড়ে। গ্রাহক-স্টেশনের অ্যানটেনার সাহায্যে প্রেরক-স্টেশনের সিগন্যাল গ্রাহক-যন্ত্রকে কার্যকরী করে। ক্যাথোড-রশ্মি টিউবে ছবি পাইতে হইলে প্রেরক-স্টেশনে মোজেক পর্দা যে গতিতে বিশ্লেষিত হয়, প্রতিপ্রভ গ্রাহক পর্দাকেও সেই গতিতে ইলেকট্রন-রশ্মিদ্বারা বিশ্লেষণ করিতে হইবে। ইহা করিতে হইলে, ক্যাথোড-রশ্মি টিউবের গলার কাছে পূর্বের মতই দুইটি সমকোণী বিক্ষেপ-বর্তনী ব্যবহার করা হয় এবং সেগুলিতে সময়ভিত্তিক (time-based) বিভব প্রয়োগ করিয়া করাতী-দাঁত তড়িৎপ্রবাহ (saw-tooth currents) পাঠানো হয়। এইরূপ প্রবাহের বৈশিষ্ট্য হইল সময়ের সহিত নির্দিষ্ট হারে ইহা বৃদ্ধি পাইয়া অবশেষে চরম মাত্রাতে উঠিয়া মুহূর্তের মধ্যেই বিদ্যুৎক্ষরণ দ্বারা ইহার মান শূন্যে পরিণত হওয়া। এইরূপ পরিবর্তনশীল তড়িৎপ্রবাহের একটি খুব উচ্চ-কম্পাঙ্কের—ইহা 'লাইন' বিশ্লেষণ (Line scanning) করে এবং অন্যটি নিম্ন-কম্পাঙ্কের যাহা 'ফ্রেম' বিশ্লেষণ (Frame scanning) করে। উপরন্তু গ্রাহক-যন্ত্রের বিশ্লেষণী রশ্মি প্রেরক-যন্ত্রের সহিত যুগপৎভাবে (synchronically) কার্যকরী থাকে এবং তখনই প্রতিপ্রভ পর্দাটি প্রেরক-স্টেশনে বস্তুটির বিশ্লেষণের সহিত একই ধাপে বিশ্লেষিত হইতে থাকে। প্রেরক-স্টেশন হইতে যুগপৎ ও অবিচ্ছিন্নভাবে 'লাইন' ও 'ফ্রেম' সিগন্যাল এবং 'vision' সিগন্যাল আসিতে

থাকে। ইহাদের মধ্যে 'লাইন' ও 'ফ্রেম' সিগন্যাল গ্রাহক-যন্ত্রের সময়ভিত্তিক তড়িৎপ্রবাহকে একই ধাপে কার্যকরী রাখে এবং 'vision' সিগন্যাল অসিলো-গ্রাফের কনট্রোল তড়িৎ-দ্বারে প্রযুক্ত হইয়া প্রতিপ্রভ পর্দায় ক্যাথোড-রশ্মির ঔজ্জ্বল্যকে মোজেক পর্দার তড়িৎপ্রবাহের সমহারে পরিবর্তিত করে। এইভাবে গ্রাহক-পর্দায় মোজেক পর্দার মতই আলো আঁধারের এক অবিকল প্রতিরূপ (replica) ফুটিয়া ওঠে।

পর্দায় আলোর কম্পন (flickering) কমানোর জন্য 'interlaced scanning' নামক পদ্ধতিতে পর্দাটি বিশ্লেষিত হয়। এই পদ্ধতিতে মোজেক পর্দাটির গায়ে রূপার গুঁড়ার 400 লাইন থাকিলে প্রতিপ্রভ পর্দাটিও 400 লাইনে বিভক্ত করা হয় এবং পর্যায়ক্রমে প্রথম, তৃতীয়, পঞ্চম…ইত্যাদি এবং দ্বিতীয়, চতুর্থ, ষষ্ঠ…ইত্যাদি লাইন বিশ্লেষিত হয়। এই প্রক্রিয়ার বারবার



চিত্র 2.19

পুনরাবৃত্তি ঘটে এবং এক একটি পর্যায় $\frac{1}{50}$ সেকেণ্ডে সম্পাদিত হয়। যেহেতু দুইটি পর্যায়ে সম্পূর্ণ পর্দার বিশ্লেষণ হয় সেহেতু একবার সম্পূর্ণ বিশ্লেষণে সময় লাগে $\frac{1}{25}$ সেকেণ্ড। ফলে সম্প্রচারের কম্পাঙ্ক নিম্নমানে ($200 \times 50 = 10000$ cycles/sec) রাখা যায় অথচ একই সঙ্গে মিনিটে অধিকবার (50 বার) বিশ্লেষণের ফলে পর্দায় উচ্চমানের চিত্র পাওয়া যায়।

টেলিভিশন গ্রাহক-যন্ত্রের বিভিন্ন অতিপ্রয়োজনীয় অংশগুলি ব্লক-চিত্রের সাহায্যে দেখানো হইল (চিত্র 2.19)।

প্রশ্নাবলী

1. তাপীয়-আয়ন প্রবাহ কি এবং ইহা কিভাবে সংঘটিত হয়? স্পেসচার্জ বলিতে কি বোঝায়?

[What is thermoionic current and how is it generated? What is meant by space-charge effect?]

2. তাপীয় আয়ন ভাল্‌ভ কি? ইহাকে 'ভাল্‌ভ' বলে কেন? একটি দ্বি-তড়িৎ-দ্বার ভাল্‌ভের গঠন ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

[What is thermoionic valve? Why is it called 'valve'? Describe the construction and working principle of a diode.]

3. ডায়োডের সাহায্যে কিভাবে একমুখী প্রবাহের সৃষ্টি করা যায় বর্ণনা কর।

[Explain how a diode is used as a rectifier.]

4. ত্রি-তড়িৎ-দ্বার ভাল্‌ভের গঠন ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। কিভাবে বিবর্ধকরূপে ত্রি-তড়িৎ-দ্বার ভাল্‌ভ ব্যবহৃত হয়?

[Describe the construction and working principle of a triode. How is it used as an amplifier?]

5. ক্যাথোড-রশ্মি অসিলোগ্রাফের গঠন ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

[Describe the construction and working principle of a cathode-ray oscillograph.]

6. রেডিও-এর কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

[Explain the principle of working of a radio.]

7. রাডার কি? ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

[What is a radar? Explain its principle of working.]

8. টেলিভিশন যন্ত্রে কিভাবে চিত্র সৃষ্টি করা হয়?

[How pictures are formed in a television?]

———

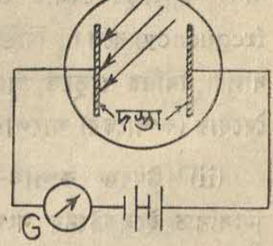
তৃতীয় অধ্যায়

আলোক-তড়িৎ (Photo-electricity)

3.1. আলোক-তড়িৎ কি ? (What is photo-electricity ?)

কোন ধাতব পদার্থের উপর উপযুক্ত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের কোন আলোক ফেলিলে উহা হইতে ইলেকট্রন নিঃসরিত হইতে থাকে এবং এই ইলেকট্রন নিঃসরণ যতক্ষণ পর্যন্ত আলোক থাকে, ততক্ষণ পর্যন্তই স্থায়ী হয়। এই ঘটনাকেই **আলোক-তড়িৎ** (photo-electricity) বলে।

1887 খ্রীষ্টাব্দে **হার্ৎস** (Hertz) দুইটি তড়িৎ-দ্বারের ভিতর স্ফুলিঙ্গ পাঠাইয়া তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ সৃষ্টি করার সময় লক্ষ্য করেন যে, তড়িৎ-দ্বারের উপর অতি-বেগুনী রশ্মি (ultra-violet ray) ফেলিলে অতি সহজেই স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি হয়। পরবর্তী কালে, 1888 খ্রীষ্টাব্দে হলওয়াক্, এলস্টার, গাইটেল প্রমুখ বিজ্ঞানীরা আলোক-তড়িতের পরীক্ষামূলক প্রমাণ করেন। তাঁহারা একটি বায়ুশূন্য কাঁচের কুণ্ডে দুইটি দস্তার পাত ঢুকাইয়া উহাদের বাহির হইতে একটি ব্যাটারী-বর্তনীর সঙ্গে যুক্ত করেন (চিত্র 3.1)। এখন ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারে যুক্ত পাতটিতে অতি-বেগুনী রশ্মি ফেলিয়া দেখা গেল যে, তড়িৎ-বর্তনীর গ্যালভ্যানোমিটারে (G) বিক্ষেপ সৃষ্টি হয়। অথচ ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারে যুক্ত পাতটিতে এরূপ আলো ফেলিলে কোন বিক্ষেপ দেখা গেল না। অর্থাৎ একমাত্র প্রথম ক্ষেত্রেই বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি হইতেছে। ইহাও দেখা গেল যে, যে মুহূর্তেই ঋণাত্মক পাতে আলো পড়ে সঙ্গে সঙ্গেই প্রবাহ সুরু হয় এবং আলো বন্ধ করা মাত্রই প্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়।



চিত্র 3.1

উপরোক্ত ঘটনার একমাত্র নিম্নরূপ ব্যাখ্যা করা যায়। ঋণাত্মক ধাতব পাত হইতে অতি-বেগুনী রশ্মির প্রভাবে ঋণাত্মক আয়ন (ইলেকট্রন) নিঃসরিত হয় এবং ধনাত্মক পাতে আকৃষ্ট হইয়া তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি করে। আলোকের প্রভাবে এই ইলেকট্রন নিঃসরণ হয় বলিয়া ইহাদের আলোকজ-ইলেকট্রন

(photo-electron) এবং ইহাদের দ্বারা সৃষ্ট তড়িৎপ্রবাহকে আলোক-তড়িৎ-প্রবাহ (photo-electric current) বলে।

পরবর্তী কালে দেখা গেল, সকল ধাতব পদার্থই উপযুক্ত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো (গ্যামা-রশ্মি, এক্স-রশ্মি অথবা অতি-বেগুনী-রশ্মি)-র প্রভাবে আলোক-তড়িৎ ঘটনা প্রদর্শন করে। সোডিয়াম, পটাসিয়াম প্রভৃতি ক্ষার ধাতুগুলির ক্যাথোডের উপর সাধারণ দৃশ্যমান (visible) আলো পড়িলেই আলোক-তড়িৎ সৃষ্টি হয়। বিভিন্ন ধাতব পদার্থের আলোক-তড়িতীয় ঘটনার নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষা করিয়া অবশেষে আলোক-তড়িৎ সম্বন্ধীয় নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি লক্ষ্য করা গেল :

(i) আলোকজ-ইলেকট্রন সৃষ্টি এবং ইহাদের নির্গমন বেগ আপতিত আলোকের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল—ইহার তীব্রতা (intensity of illumination)-র উপর নহে। তীব্রতা অপরিবর্তিত রাখিয়া যদি আলোকের কম্পাঙ্ক বৃদ্ধি করা হয়, তবে ইলেকট্রনগুলির নির্গমন বেগ বৃদ্ধি পায় এবং হ্রাস করিলে একটি নিম্নতম কম্পাঙ্কে ঐ ধাতু হইতে কোন ইলেকট্রনই নির্গত হইবে না। ঐ ধাতুর বেলায় উক্ত কম্পাঙ্ককে **প্রারম্ভ-কম্পাঙ্ক** (threshold-frequency) বলে। বিভিন্ন ধাতুর ক্ষেত্রে এই প্রারম্ভ কম্পাঙ্কের মান বিভিন্ন বলিয়া বিভিন্ন ধাতুতে আলোকজ-ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের (কম্পাঙ্কের) আলোর দরকার হয়।

(ii) উপযুক্ত কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট আলোকের তীব্রতা বাড়াইলে অবশ্য নিঃসরিত ইলেকট্রনের সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। ফলে, আলোক-তড়িৎ প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

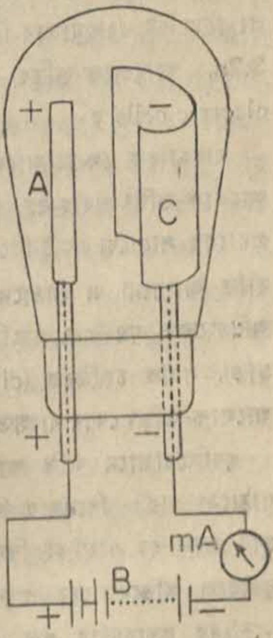
(iii) আলোকজ-ইলেকট্রন নিঃসরণ আলো আপতিত হইবার সঙ্গে সঙ্গে সুরু হয় এবং আলো বন্ধ হইবার সঙ্গে সঙ্গেই বন্ধ হয়।

(iv) কোন নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে আলোকজ-ইলেকট্রন যে প্রাথমিক গতিবেগ লইয়া নির্গত হয় তাহা শূন্য হইতে একটি গরিষ্ঠ মান পর্যন্ত বৃদ্ধি পায়।

3.2. আলোক-তড়িৎ কোষ (Photo-electric cells) :

আলোক-তড়িৎ পদ্ধতি অবলম্বনে আলোক-শক্তিকে তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত করার ব্যবস্থাকে আলোক-তড়িৎ কোষ বলে। এই কোষ বিভিন্ন ধরনের। ইহাদের মধ্যে একটি আলোক-নিঃসরণ কোষ (photo-emission cell) বিষয়ে এখানে আলোচনা করিব।

আলোক-নিঃসরণ কোষ একটি বায়ুশূন্য অথবা নিষ্ক্রিয় গ্যাসপূর্ণ কাচের বাল্ব (চিত্র 3.2)। ইহার ভিতর বৃহৎ ক্ষেত্রফলযুক্ত অর্ধ-চোঙাকৃতি একটি ধাতব প্লেট (C) কোষের ক্যাথোড হিসাবে কাজ করে। একটি ধাতব তার বা তারের জালি ইহার অ্যানোড (A) হিসাবে কাজ করে। সাধারণ দৃশ্যমান আলোক ব্যবহার করিলে ক্যাথোড, C-এর উপর দৃশ্যমান আলোকসাপেক্ষে আলোক-তড়িৎ সংবেদনশীল ক্ষার ধাতু, সোডিয়াম, পটাসিয়াম ইত্যাদির প্রলেপ দেওয়া হয়। তাছাড়া নানা মিশ্র পদার্থ (যেমন, সিলভারের উপর সিজিয়াম অক্সাইডের প্রলেপ বা বিস্‌মাথ, সিলভার, অক্সিজেন ও সিজিয়ামের মিশ্রণ প্রভৃতি) দৃশ্যমান আলোকসাপেক্ষে আলোক-তড়িৎ সংবেদনশীল।



চিত্র 3.2

কোষের ক্যাথোড ও অ্যানোডকে চিত্রে (চিত্র 3.2) বর্ণিত তড়িৎ-বর্তনীর যথাক্রমে ঋণাত্মক ও ধনাত্মক প্রান্তের সহিত যুক্ত করা হইল। বর্তনীর ব্যাটারী B-তে প্রায় 100 ভোল্টের মত বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করা হয়।

এখন ক্যাথোডে উপযুক্ত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো ফেলিলে ক্যাথোড হইতে আলোকজ-ইলেকট্রন নির্গত হইতে থাকে এবং বিভব-প্রভেদের ফলে অ্যানোড কর্তৃক আকর্ষিত হইয়া বর্তনীতে এক তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি করে। বর্তনীর মিলি-অ্যাম্মিটারে (*mA*) এই প্রবাহমাত্রা লক্ষ্য করা যাইবে। এখন বিভব-প্রভেদ ক্রমশঃ বৃদ্ধি করিলে প্রবাহমাত্রাও ক্রমশঃ বৃদ্ধি পাইয়া, অবশেষে এক সংপৃক্ত মান পাইবে। এই অবস্থায় আলোর তীব্রতা বাড়াইলে অবশ্য প্রবাহমাত্রা তীব্রতার সমানুপাতিক হারে বৃদ্ধি পাইবে।

গ্যাসপূর্ণ আলোক-তড়িৎ কোষে বাল্‌বটি নিম্নচাপের নিষ্ক্রিয় গ্যাসে (নিয়ন, আর্গন প্রভৃতি) পূর্ণ থাকে এবং ক্যাথোড হইতে নির্গত আলোকজ-ইলেকট্রন অ্যানোডের দিকে ধাবিত হওয়ার সময় পথিমধ্যে এই গ্যাসের অণু-পরমাণুর সহিত ধাক্কা খাইয়া আয়নয়ন ঘটায়। ফলে প্রচুর ইলেকট্রন

তৈয়ারী হয় এবং প্রবাহমাত্রা অনেক বাড়িয়া যায়। কিন্তু বায়ুশূন্য কোষের মত গ্যাসপূর্ণ কোষের প্রবাহমাত্রা আলোর তীব্রতার সহিত সমানুপাতিক হয় না। ফলে, পরিমাণ মাপার কাজে গ্যাসপূর্ণ কোষ ব্যবহার করা যায় না।

সাধারণভাবে আলোক-তড়িৎ কোষের প্রবাহমাত্রা খুবই কম। ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ইহাকে কাজে লাগাইতে হইলে বর্তনীতে একটি ভাল্ভ-বিবর্ধক লাগাইয়া এই প্রবাহমাত্রার বিবর্ধন করা হয়।

3.2a. আলোক-তড়িৎ কোষের ব্যবহার (Use of the photo-electric cells) :

ব্যবহারিক ক্ষেত্রে আলোক-তড়িৎ কোষের বহুবিধ প্রয়োগ রহিয়াছে। আলোক-তড়িৎ প্রবাহ বহু স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রের নিয়ন্ত্রকরূপে কাজ করে। এই প্রবাহের সাহায্যে একটি রিলে (relay)-কে কার্যকরী করিয়া রাস্তার স্বয়ংক্রিয় বাতি জ্বালানো বা নেভানো, ট্রেনের স্বয়ংক্রিয় সিগ্‌ন্যাল নিয়ন্ত্রণ, তস্কর বা অগ্নিসংকেত যন্ত্র এবং স্বয়ংক্রিয় গণকযন্ত্র প্রভৃতি কার্য নিয়ন্ত্রণ করা হয়। ইহা ছাড়া, সবাক চলচ্চিত্রে (cinema films), টেলিভিশনে ও বেলিনোগ্রামে আলোক-তড়িৎ কোষ ব্যবহৃত হয়।

বেলিনোগ্রামে অতি অল্প সময়ে এক দেশ হইতে অন্যত্র ছবি বা সংবাদ পাঠানো যায়। সিনেমার ফিল্মে অভিনেতাদের অভিনয়ের সঙ্গে সঙ্গে অসংখ্য ছবি তোলা হয় এবং এই ফিল্ম একটি নির্দিষ্ট গতিতে প্রোজেক্টারের মধ্যে ঘুরাইলে অভিনেতাদের প্রকৃত চালচলন পর্দার উপর ফুটিয়া উঠে। অভিনেতাদের কথাবার্তার শব্দ একটি মাইক্রোফোন যন্ত্রের সাহায্যে তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয় এবং এই তড়িৎ-শক্তি একটি আলোকিত ছিদ্রের ক্ষেত্রফল বাড়াইয়া-কমাইয়া আলোর পরিমাণ নিয়ন্ত্রণ করে। একটি চলন্ত ফিল্মের উপর এই নিয়ন্ত্রিত আলোর ছবি তোলা হয় এবং অভিনেতাদের চালচলনের ছবি যে ফিল্মে তোলা থাকে, তাহার সহিত যুগপৎভাবে অন্য একটি (ধনাত্মক) ফিল্মে উভয়কে তোলা হয়; শব্দ-নির্দেশক আলোর ছবি ফিল্মের একপাশে থাকে। প্রোজেক্টার যন্ত্র হইতে একটি তীব্র আলোক-রশ্মি এই শব্দ-নির্দেশক আলোর ছবির মধ্য দিয়া যাইবার কালে, ইহার মধ্য দিয়া নির্গত আলোর তীব্রতা সমানুপাতিক হারে বাড়ে বা কমে এবং এই আলো একটি আলোক-তড়িৎ কোষে পড়িয়া অনুরূপ তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি করে। এই তড়িৎপ্রবাহকে বিবর্ধিত করিয়া মাইক্রোফোনে প্রয়োগ করিলে শব্দের পুনরুৎপাদন করা যায়।

3.3. বিকিরণের কণাধর্মিতা—কোয়াণ্টাম তত্ত্ব (Particle nature of radiation—Quantum theory) :

বিকিরণের প্রাচীন তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ-তত্ত্বের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ ঘটনাসমূহের বৈশিষ্ট্যগুলির (অনুচ্ছেদ 3.1) সন্তোষজনক ব্যাখ্যা করা যায় না। তরঙ্গ-তত্ত্ব অনুযায়ী আলোর শক্তি সমগ্র তরঙ্গ-মুখের উপর সমভাবে ছড়াইয়া থাকে। ফলে কেবলমাত্র কয়েকটি পরমাণু হইতে ইলেকট্রন বিচ্যুত হওয়ার ঘটনা তরঙ্গ-তত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না। দ্বিতীয়তঃ, এই তত্ত্ব অনুযায়ী আলোক-তরঙ্গ হইতে উদ্ভূত তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্যই পরমাণুর ইলেকট্রনগুলিকে বিচ্যুত করে। এই তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য আবার আলোর তীব্রতার উপর নির্ভর করে। ফলে তীব্রতা বাড়াইলে ক্ষেত্রপ্রাবল্যও বাড়ে এবং ইহার ফলে বিচ্যুত ইলেকট্রনগুলির নির্গমন বেগ ও শক্তি বৃদ্ধি পায়। অথচ পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হইল আলোকজ-ইলেকট্রনের প্রাথমিক গতিবেগ আলোর তীব্রতার উপর নির্ভরশীল নয়। তৃতীয়তঃ, আলোকজ-ইলেকট্রনগুলি তাহাদের শক্তি আহরণ করে আপতিত আলোকরশ্মি হইতে—সেক্ষেত্রে কোন পরমাণু আপতিত আলোকরশ্মি হইতে শক্তি সংগ্রহ করিয়া তাহা ইলেকট্রনকে দান করে। এই অবস্থায় ইলেকট্রনকে বিচ্যুত করিবার মত যথেষ্ট শক্তি সংগ্রহ ও সরবরাহ করিতে যে সময় লাগিবে প্রাচীন তরঙ্গতত্ত্ব অনুযায়ী তাহা কোন কোন ক্ষেত্রে কয়েকদিন পর্যন্ত হইতে পারে। অথচ পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হইল আলোক-তড়িৎ ঘটনা তাৎক্ষণিক। উপরন্তু, প্রারম্ভ-কম্পাঙ্কের অস্তিত্বও তরঙ্গ-তত্ত্ব হইতে কোনরূপে ব্যাখ্যা করা সম্ভবপর নয়।

উপরের আলোচনা হইতে বোঝা যায় যে, প্রাচীন তরঙ্গ-তত্ত্ব আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত ঘটনাবলীর ব্যাখ্যা করিতে সমর্থ নয়। ইহার সার্থক ব্যাখ্যার জন্য 1901 খ্রীষ্টাব্দে ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক এবং পরবর্তী কালে 1905 খ্রীষ্টাব্দে আইনস্টাইন সকল প্রকার বিকিরণ সম্বন্ধে এক নতুন ধারণার অবতারণা করেন। ইহাই বিখ্যাত কোয়াণ্টাম তত্ত্ব। এই তত্ত্বানুযায়ী যে-কোন বিকিরণে শক্তি নির্গমন তরঙ্গতত্ত্ব অনুযায়ী অবিচ্ছিন্নভাবে ঘটে না, কোন একক শক্তির গুণিতক হিসাবে ঘটে। এই একক শক্তির নাম এক 'কোয়াণ্টাম'। এই নিয়মে যে-কোন বিকিরণ কতকগুলি ঝাঁক ঝাঁক বিকিরণ-কণার সমষ্টি। এই কণাগুলির নাম ফোটন (photon)। প্রতিটি ফোটন এক কোয়াণ্টাম শক্তি বহন করে এবং ইহার মান $h\nu$ (h=প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবসংখ্যা, ν=বিকিরণের কম্পাঙ্ক)। ইহারা শূন্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগে চলাচল করে। ইহাদের

শক্তি বিকিরিত আলোর কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল বলিয়া এই কণাগুলি যুগ্মভাবে তরঙ্গধর্মী ও কণাধর্মী। কণাগুলির এই যুগ্মধর্মিতার ফলেই কোয়াণ্টাম তত্ত্বের সাহায্যে সকল রকম বিকিরণ-পদ্ধতির সার্থক ব্যাখ্যা করা সম্ভব।

কোয়াণ্টাম তত্ত্বের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত ঘটনাসমূহের ব্যাখ্যা করা যায়। আইনস্টাইনের মধ্যে $h\nu$ শক্তিবিশিষ্ট কোন ফোটনের সহিত কোন পরমাণুর স্থিতিস্থাপক সংঘাত (elastic collision) হয়, ফলে ঐ পরমাণু ফোটনের সমস্ত শক্তি শোষণ করিয়া পরমাণুর ইলেকট্রনকে ঐ শক্তি হস্তান্তরিত করে এবং ইলেকট্রনের শক্তি $h\nu$ পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। এই অতিরিক্ত শক্তি $(h\nu)$ যদি ইলেকট্রনকে নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ হইতে বিচ্যুত করিতে যতটা কার্য (ω_0) করিতে হয় তদপেক্ষা কিছু বেশী হয় তবেই ইলেকট্রন নির্গত হইয়া ধাবিত হইবে। নির্গত ইলেকট্রনের গতিশক্তি যদি $\frac{1}{2}mv^2$ হয় তবে সেক্ষেত্রে,

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = h\nu - \omega_0$$

(m=ইলেকট্রনের ভর ; v=ইলেকট্রনের গতিবেগ)।

উপরোক্ত সমীকরণ আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত **আইনস্টাইনের সমীকরণ** নামে খ্যাত। এই সমীকরণের সাহায্যে আলোক-তড়িতের বৈশিষ্ট্যগুলির (অনুচ্ছেদ 3.1) নিম্নরূপে ব্যাখ্যা করা যায়।

(i) কোন ধাতু হইতে নির্গত আলোকজ-ইলেকট্রনের নির্গম গতিবেগ (v) আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক (ν)-এর সমানুপাতিক, কারণ ω_0 ধাতুর ধ্রুবক।

(ii) কম্পাঙ্ক কমাইলে গতিবেগও কমে এবং কম্পাঙ্কের কোন ন্যূনতম মানে (ν_0) গতিবেগ শূন্য হয়; সেক্ষেত্রে, $h\nu_0 = \omega_0$ অর্থাৎ শুধুমাত্র ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য অন্ততঃ ν_0 কম্পাঙ্কবিশিষ্ট আলোকের প্রয়োজন। ইহাই ঐ ধাতুর প্রান্তিক কম্পাঙ্ক।

(iii) প্রান্তিক কম্পাঙ্কের অধিক কম্পাঙ্কবিশিষ্ট আলোর তীব্রতা বাড়াইলে কোয়াণ্টাম তত্ত্বানুযায়ী ফোটনের সংখ্যা বৃদ্ধি পায়—ফলে আলোক-তড়িৎ প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পাইবে।

(iv) ফোটন ও পরমাণুর সংঘাত স্থিতিস্থাপক হওয়ায় শক্তি বিনিময় তাৎক্ষণিক হইবে—ফলে আলোকের আপতন ও আলোকজ-ইলেকট্রন নির্গমনের মধ্যে কোন সময়-বিলম্বন (time-lag) থাকিবে না।

অনুরূপভাবে দেখানো যায় যে, কোয়াণ্টাম তত্ত্ব বিকিরণ-সংক্রান্ত নানা ঘটনার সন্তোষজনক ব্যাখ্যা করিতে সক্ষম।

প্রশ্নাবলী

1. আলোক-তড়িৎ বলিতে কি বোঝায়? ইহার বৈশিষ্ট্যগুলি কি কি?

[What is meant by photo-electricity? How is it discovered? What are its characteristics?]

2. আলোক-তড়িৎ কোষ কি? ইহার কার্যনীতি বর্ণনা কর। সবাক্ চলচ্চিত্রে ইহার ব্যবহারবিধি বর্ণনা কর।

[What is a photo-electric cell? Explain its principle of working. How is it used in a cinema?]

3. বিকিরণের কণাধর্মিতা বলিতে কি বোঝায়? কোয়াণ্টাম তত্ত্ব কি এবং কিভাবে ইহা বিকিরণ পদ্ধতির ব্যাখ্যা করে?

কোয়াণ্টাম তত্ত্বের সাহায্যে আলোক-তড়িতের বৈশিষ্ট্যগুলি ব্যাখ্যা কর।

[What is meant by particle nature of radiation? What is Quantum theory of radiation and how it explains any radiation phenomenon?

Explain the characteristics of photo-electric emission by Quantum theory.]

চতুর্থ অধ্যায়
পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠনতত্ত্ব
(Electronic structure of the atom)

4.1. সূচনা—পরমাণুর গঠন (Introduction—Structure of the Atom) :

সমস্ত পদার্থই অসংখ্য পরমাণুর সমন্বয়ে গঠিত। ডালটনের পরমাণু-তত্ত্ব অনুসারে পরমাণুই পদার্থের ক্ষুদ্রতম অংশ এবং সেগুলি অবিভাজ্য ও অপরিবর্তনশীল। কিন্তু ঊনবিংশ শতাব্দীর শেষভাগ হইতে বিভিন্ন বিজ্ঞানীদের গবেষণায় জানা গিয়াছে যে, পরমাণুসমূহ আরো ক্ষুদ্রতম কণা দ্বারা গঠিত। এই কণাসমূহের প্রকৃতি ও পরিবিন্যাস সম্বন্ধেও স্থির সিদ্ধান্তে আসা সম্ভবপর হইয়াছে। থমসন্, রাদারফোর্ড প্রমুখ বিজ্ঞানীদের গবেষণায় জানা গিয়াছে যে, পরমাণুর অভ্যন্তরে ঋণাত্মক আধানযুক্ত ইলেকট্রন-কণা এবং ইহার কেন্দ্রস্থলে ধনাত্মক আধানযুক্ত নিউক্লিয়াস বিদ্যমান। নিউক্লিয়াস আবার ধনাত্মক আধানযুক্ত প্রোটন-কণা এবং নিস্তড়িৎ-কণা নিউট্রন দ্বারা গঠিত। ইলেকট্রনগুলি খুব হাল্কা এবং নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে বিভিন্ন কক্ষপথে সদাই সঞ্চরণশীল। নিউক্লিয়াসের প্রোটন ও নিউট্রন-কণা ওজনে সমান কিন্তু ইলেকট্রনের তুলনায় বহুগুণ বেশী ভারী। পরমাণুতে প্রোটন ও ইলেকট্রন উভয়েই সংখ্যায় সমান থাকে—ফলে পরমাণুটি তড়িৎ-নিরপেক্ষ থাকে। নিউক্লিয়াস পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে খুব কম স্থান অধিকার করিয়া স্থির অবস্থায় থাকে।

অতএব রাদারফোর্ডের তত্ত্বানুসারে পরমাণুর কেন্দ্রে প্রোটন ও নিউট্রনের সমন্বয়ে গঠিত ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত নিউক্লিয়াস থাকে এবং নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করিয়া পরমাণুর ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত ইলেকট্রনগুলি বিভিন্ন কক্ষপথে সর্বদা ঘুরিতে থাকে। পরমাণুর এই ইলেকট্রন (বা প্রোটন)-এর সংখ্যা নির্দিষ্ট এবং ইহা পরমাণুর পরমাণবিক সংখ্যার সমান। নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করিয়া ইলেকট্রনসমূহের এই ঘূর্ণন অনেকটা সূর্যকে কেন্দ্র করিয়া গ্রহগুলির ঘূর্ণনের অনুরূপ। এজন্য ইলেকট্রনের এরূপ ঘূর্ণনকে গ্রহমণ্ডলীয় (planetory) ঘূর্ণন বলে। ইহাদের এই গতিপথ অনেকটা উপবৃত্তাকার এবং এই পথে তীব্রবেগে ঘূর্ণনের সময় ইলেকট্রনগুলির অপকেন্দ্র (centrifugal) বলের সৃষ্টি হয়। কিন্তু ইলেকট্রন ও নিউক্লিয়াসের বিপরীত আধানের মধ্যে প্রযুক্ত কেন্দ্রাভিমুখী

(centripetal) বল এই অপকেন্দ্র বলকে নিষ্ক্রিয় করিয়া রাখে ; ফলে ইলেকট্রনগুলি সর্বদা নিজ নিজ পথে পরিভ্রমণ করিতে করিতে পরমাণুর স্থিতাবস্থা (stability) বজায় রাখে।

4.2. বোরের পারমাণবিক গঠনতত্ত্ব (Bohr Atom model) ঃ

পরমাণুর উপরোক্ত গঠনপ্রণালী রাদারফোর্ডের গঠনতত্ত্ব নামে খ্যাত। কিন্তু এই গঠনতত্ত্বের কয়েকটি ত্রুটি পরিলক্ষিত হইল। সমসাময়িক বিকিরণের তড়িচ্চুম্বকীয়তত্ত্ব অনুসারে ইলেকট্রনসমূহের এইরূপ ঘূর্ণনের ফলে ইলেকট্রন হইতে সর্বদা শক্তি বিকিরিত হইবার কথা—ফলে ইলেকট্রনগুলির শক্তি ক্রমশঃ কমিতে থাকিবে এবং ইহারা ক্রমহ্রাসমান কক্ষপথে ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্কের শক্তি বিকিরণ করিতে করিতে অবশেষে নিউক্লিয়াসে আসিয়া পৌছিবে। ইলেকট্রনের এইরূপ কক্ষীয় (orbital) পথে ঘূর্ণনের ফলে পরমাণুর স্থিতাবস্থা নষ্ট হইয়া যাইবে। তাহা ছাড়া, পরমাণু হইতে ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্কের বিকিরণ পরীক্ষালব্ধ ফলের বিপরীত—কারণ পরমাণু হইতে নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের পৃথক পৃথক রেখা-বর্ণালীর উৎপত্তি হয়। ফলে, এক্ষেত্রে একমাত্র সিদ্ধান্ত করা যায় যে, হয় রাদারফোর্ডের পরমাণুর গঠনতত্ত্ব ভুল নতুবা তড়িচ্চুম্বকীয় তত্ত্ব ইহার ব্যাখ্যা করিতে অপারগ।

1913 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী নীল বোর প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্বের সাহায্যে ইলেকট্রনের কক্ষগুলির প্রকৃতি নির্ধারণ করিয়া রাদারফোর্ডের পরমাণুর গঠন-তত্ত্বের ব্যাখ্যা করিতে সমর্থ হন। কোয়ান্টাম তত্ত্বানুসারে যে-কোন বিকিরণ নিরবচ্ছিন্নভাবে ঘটে না—কোন একক শক্তির গুণিতক হিসাবে ঘটে। এই একক শক্তির নাম 'কোয়ান্টাম' এবং ইহার মান $h\nu$ (পূর্ববর্তী অধ্যায় দ্রষ্টব্য)। বোরের এই পারমাণবিক গঠনতত্ত্ব অনুসারে পরমাণুর ইলেকট্রন সকল সম্ভাব্য কক্ষে পরিভ্রমণ করে না—উপরোক্ত কোয়ান্টাম সর্ত পালনকারী কয়েকটি মাত্র নির্দিষ্ট কক্ষে পরিভ্রমণ করে। যখন এইরূপ কোন নির্দিষ্ট কক্ষ হইতে কোন ইলেকট্রন দ্রুত সরিয়া আসিয়া অন্য কোন নির্দিষ্ট কক্ষে যায়, তখনই পরমাণু হইতে রেখা-বর্ণালীর সৃষ্টি হয়। বিকিরিত শক্তির মান হইবে দুই কক্ষের শক্তির পার্থক্যের সমান এবং $h\nu$-এর সমান। বোরের পারমাণবিক গঠনতত্ত্বের অন্যান্য বৈশিষ্ট্যগুলি হইল—(*a*) ইলেকট্রনের কণাগুলি উপবৃত্তাকার, (*b*) কক্ষগুলির ব্যাসার্ধসমূহ n^2-এর ($n=1, 2, 3\cdots=$কোয়ান্টাম সংখ্যা) সমানুপাতিক এবং (*c*) প্রত্যেক কক্ষে ইলেকট্রনের সংখ্যা $2n^2$-এর বেশী হইবে না (Vector atom model)। এই নিয়মে নিউক্লিয়াসের

সর্বাপেক্ষা নিকটবর্তী কক্ষে মাত্র দুইটি ইলেকট্রন, পরের কক্ষে আটটি, তৃতীয় কক্ষে আঠারোটি—এইরকম বিভিন্ন সংখ্যার ইলেকট্রন সজ্জিত থাকে। অবশ্য মোট ইলেকট্রন-সংখ্যা পরমাণবিক সংখ্যার সমান থাকিবে। নিউক্লিয়াসের নিকট হইতে এই কক্ষপথগুলির পর পর নামকরণ করা হইয়াছে, K, L, M, N ইত্যাদি। নিউক্লিয়াসের আকর্ষণে বাহিরের কক্ষ অপেক্ষা অভ্যন্তরের কক্ষের বন্ধন-শক্তি (binding energy) অনেক বেশী।

পরমাণুর উপরোক্ত গঠনতত্ত্বের সাহায্যে বহু পরমাণবিক ঘটনার সঠিক ব্যাখ্যা করা যায়।

4.3. প্রতিপ্রভা ও অনুপ্রভা (Fluorescence and Phosphorescence) :

এমন কতকগুলি পদার্থ আছে, যাহাদের উপযুক্ত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো দ্বারা উত্তেজিত করিলে তাহারা অন্য তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো বিকীর্ণ করে। এই ঘটনার নাম **দীপ্তিপ্রভা** (Luminescence)। দীপ্তিপ্রভাকে সাধারণতঃ দুই ভাগে ভাগ করা যায়—(i) প্রতিপ্রভা ও (ii) অনুপ্রভা।

(i) **প্রতিপ্রভা** (Fluorescence) **:** 1852 খ্রীষ্টাব্দে স্টোক্স্ লক্ষ্য করেন যে, কতকগুলি পদার্থ উপযুক্ত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো শোষণ করিয়া উত্তেজিত হইলে, বৃহত্তর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো বিকিরণ করে। ইহাকে প্রতিপ্রভা বলে। বিকীর্ণ আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য প্রতিপ্রভ বস্তুর প্রকৃতির উপর নির্ভর করে—আপতিত আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের উপর ইহার কোন প্রভাব থাকে না। কিন্তু আপতিত আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যকে প্রতিপ্রভা সৃষ্টির উপযুক্ত হওয়া চাই। এইরূপ বস্তুর উপর আলো যতক্ষণ থাকে প্রতিপ্রভা ততক্ষণই বজায় থাকে। বিকিরণের প্রাচীন তত্ত্বগুলি (classical theories) এই ঘটনার ব্যাখ্যা করিতে পারে না। একমাত্র বোরের কোয়ান্টাম তত্ত্বের সাহায্যে ইহার যথার্থ ব্যাখ্যা করা যায়। এই ঘটনার সাহায্যে সংশ্লিষ্ট বস্তুগুলির অণু-পরমাণু-সমূহের ইলেকট্রনীয় গঠনতত্ত্ব জানিতে পারা যায়।

ফ্লোর্স্পার, কুইনাইন সালফেট, ইউরেনিয়াম, বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড, জিঙ্ক্ সালফাইড প্রভৃতি প্রতিপ্রভ বস্তুর উদাহরণ। অতি-বেগুনী রশ্মি (Ultra-violet rays) অদৃশ্য আলো—ইহা প্রতিপ্রভ বস্তুতে পড়িয়া দৃশ্য-আলো (visible light) উৎপন্ন করে।

(ii) **অনুপ্রভা** (Phosphorescence) **:** কতকগুলি বস্তু আছে যাহাদের কোন বিকিরণের সম্মুখে কিছুক্ষণ রাখিয়া অন্যস্থানে লইয়া গেলে ঐ বস্তু হইতে

তখনও কিছু আলো বিকীর্ণ হইতে দেখা যায়। এরূপ বস্তুকে সাদা আলোয় কিছুক্ষণ রাখিয়া অন্ধকারে সরাইয়া লইয়া গেলেও, কিছুক্ষণ আলো দিতে থাকে। এই ঘটনার নাম অনুপ্রভা। ক্যালসিয়াম সালফাইড, বেরিয়াম সালফাইড, ষ্ট্রনসিয়াম, হীরা প্রভৃতি অনুপ্রভ বস্তু। বেগুনী বা অতি-বেগুনী রশ্মি অনুপ্রভা সৃষ্টিতে বিশেষ সক্রিয়।

অনুপ্রভার স্থায়িত্ব বিভিন্ন বস্তুতে বিভিন্ন হয়। কয়েক সেকেণ্ড হইতে কয়েক ঘণ্টা পর্যন্ত অণুপ্রভা থাকে। বামাঁর পেণ্ট (Balmain's paint) নামে ক্যালসিয়ামের একটি সালফাইডে অনুপ্রভা কয়েকঘণ্টা স্থায়ী হয়। অন্ধকারে ফস্‌ফরাসের ঔজ্জ্বল্য অবশ্য অনুপ্রভা নয়—ইহা বাতাসের সহিত ফস্‌ফরাসের মৃদু দহনমাত্র। জোনাকী বা কোন কোন সামুদ্রিক জন্তুর দেহের দীপ্তিও অনুপ্রভা নয়—ইহা প্রাণীগুলির দেহের নিজস্ব দীপ্তি। অনুপ্রভ বস্তু উত্তপ্ত করিলে অনুপ্রভার মাত্রা বৃদ্ধি পায়; কিন্তু স্থায়িত্ব কমিয়া যায়।

4.4. আংশিক পরিবাহী-পদার্থ (Semi-conductors) **:**

পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠনতত্ত্ব অনুসারে পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনের বিভিন্ন কক্ষে পরিবিন্যাস ঘটে। কোয়াণ্টাম তত্ত্বানুযায়ী এই ইলেকট্রনের শক্তির বিন্যাসও কতকগুলি স্তরে (energy levels বা bands) সংঘটিত হয়। ফলে কম শক্তির ইলেকট্রন নীচের দিকের স্তরে এবং বেশী শক্তির ইলেকট্রন ক্রমশঃ উপরের দিকের বিভিন্ন স্তরে থাকে। এই স্তরগুলির মধ্যে মধ্যে আবার বিচ্ছেদ-স্তর (energy gaps) থাকে। এই স্তরগুলির সংখ্যা পরমাণুর মোট ইলেকট্রন-সংখ্যার উপর নির্ভর করে। ফলে সর্বোচ্চ স্তর (valence band) হয় ইলেকট্রনপূর্ণ নতুবা অর্ধপূর্ণ থাকিতে পারে। এই স্তরের উপরে খালি পরিবাহী স্তর (conduction band) থাকে। সর্বোচ্চ পূর্ণ বা অর্ধপূর্ণ স্তর হইতে ইলেকট্রন পরিবাহী স্তরে প্রবেশ করিতে পারিলেই, উহা তড়িৎ-পরিবাহী হইয়া উঠে।

পরিবাহী পদার্থের (conductor) ক্ষেত্রে এই সর্বোচ্চ স্তরটি আংশিক-ভাবে ইলেকট্রনপূর্ণ থাকে এবং ইহার উপরের পরিবাহী স্তর ইহার সংস্পর্শেই থাকে। ফলে এই ইলেকট্রনগুলি পরিবাহী স্তরে মুক্তভাবে চলাফেরা করিতে পারে এবং উপযুক্ত অবস্থায় তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি করিতে পারে। অপরিবাহী পদার্থে (insulator) কিন্তু এই স্তরটি সম্পূর্ণভাবে ইলেকট্রনপূর্ণ থাকে—ফলে কোন মুক্ত ইলেকট্রন পাওয়া যায় না। তাছাড়া ইহার উপরের পরিবাহী স্তরটি কিছুটা দূরে থাকে। ফলে এরূপ পদার্থে তড়িৎপ্রবাহ ঘটে না।

ইহাদের মধ্যে আবার আংশিক পরিবাহী (semi-conductor) পদার্থে পরিবাহী স্তরটি সর্বোচ্চ ইলেকট্রনপূর্ণ স্তরের বেশ কিছুটা কাছে থাকে। এইরূপ পদার্থে কোন বাহ্যিক শক্তি প্রয়োগে (তাপ বা আলোক-শক্তির প্রয়োগে) সর্বোচ্চ পূর্ণস্তর হইতে কিছু ইলেকট্রন উপরের পরিবাহী স্তরে আসিয়া যাইতে পারে (কোয়ান্টাম তত্ত্বানুসারে)। ফলে আংশিক পরিবাহী পদার্থ তখন তড়িৎ-পরিবহনে সক্ষম হয়।

আংশিক পরিবাহী পদার্থের কোন পরমাণু হইতে কোন ইলেকট্রন উপরের পরিবাহী স্তরে চলিয়া গেলে নীচের স্তরে একটি ছিদ্র (hole) বা গর্ত সৃষ্টি হয়। পার্শ্ববর্তী কোন পরমাণু হইতে তখন কোন ইলেকট্রন এই 'হোল'-এ প্রবেশ করে। ফলে, 'হোল' তখন দ্বিতীয় পরমাণুতে স্থানান্তরিত হয়। এইভাবে ইলেকট্রনের গতির বিপরীত দিকে 'হোল'-এর স্থানান্তরকরণ চলিতে থাকে। কোন বাহ্যিক তড়িৎ-শক্তির প্রভাবে যদি ইলেকট্রনগুলিকে ইহার ধনাত্মক প্রান্তের দিকে গতিশীল করা হয়। তবে 'হোল'-গুলি ইহার ঋণাত্মক প্রান্তের দিকে ধাবিত হয়। ফলে, এই 'হোল'-গুলি তখন ধনাত্মক আধানযুক্ত বলিয়া মনে হয়।

তাপ বা আলোক-শক্তি ছাড়াও আংশিক পরিবাহী পদার্থে সামান্য পরিমাণে কিছু অপদ্রব্য (impurity) প্রবেশ করাইয়া দিলেও, ইহারা তড়িৎ পরিবাহী হইয়া উঠে। ইহার নীতি নিম্নরূপ :

জারমেনিয়াম একটি আংশিক পরিবাহী পদার্থ। ইহাতে 32-টি ইলেকট্রন থাকে, ইহাদের মধ্যে 4-টি বাহিরের কক্ষে (shell) থাকে। ইহাতে অপদ্রব্য প্রবেশ করাইয়া ইহার ইলেকট্রন-সংখ্যার বৃদ্ধি বা হ্রাস করা যাইতে পারে। ইণ্ডিয়াম এরূপ এক অপদ্রব্য। ইহাতে 49-টি ইলেকট্রন থাকে, ইহাদের মধ্যে 3-টি বাহিরের কক্ষে থাকে। এই সংখ্যা জারমেনিয়ামের বাহিরের কক্ষের ইলেকট্রন সংখ্যা অপেক্ষা 1 কম। ফলে, জারমেনিয়াম হইতে একটি ইলেকট্রন সেই স্থান পূরণ করিতে পারে। কিন্তু তখন জারমেনিয়ামে একটি ইলেকট্রন ঘাটতি পড়ে। ফলে, ইহাতে একটি ধনাত্মক 'হোল'-এর সৃষ্টি হয়। ইহা তখন পার্শ্ববর্তী কোন জারমেনিয়াম পরমাণু হইতে ইলেকট্রন গ্রহণ করিতে পারে।

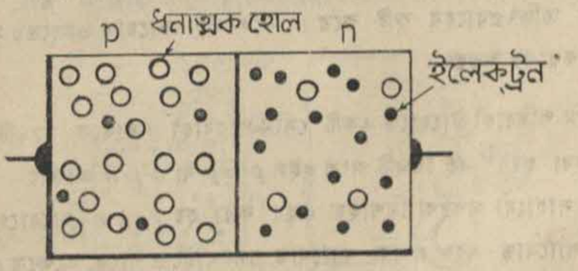
অ্যান্টিমনি অন্য আর একপ্রকার অপদ্রব্য। ইহাতে 51-টি ইলেকট্রন থাকে, ইহার মধ্যে বাহিরের কক্ষে থাকে 5-টি ইলেকট্রন। এই সংখ্যা আবার জারমেনিয়ামের বাহিরের কক্ষের ইলেকট্রন-সংখ্যা অপেক্ষা 1 বেশী। এই

অতিরিক্ত ইলেকট্রনটি পার্শ্ববর্তী জারমেনিয়াম-অণু হইতে একটি ইলেকট্রনকে সরাইয়া দিতে পারে। সেই ইলেকট্রনটিও তখন একই ঘটনার পুনরাবৃত্তি ঘটায়।

অতএব, অপদ্রব্য প্রয়োগে আংশিক পরিবাহীতে ইলেকট্রন-সংখ্যার হ্রাসে ধনাত্মক আধানের এবং বৃদ্ধিতে ঋণাত্মক আধানের সৃষ্টি হয়। প্রথম ক্ষেত্রে আংশিক পরিবাহীটিকে গ্রাহক (acceptor) বা *p*-জাতীয় (*p*-type) এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বর্জক (donor) বা *n*-জাতীয় (*n*-type) বলে। এই ইলেক-ট্রন বা 'হোল' বাহকগুলির গতিশীলতাই তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি করে।

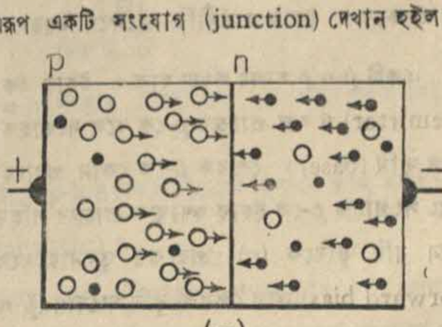
4.4a. আংশিক পরিবাহী পদার্থসৃষ্ট ডায়োড ও ট্রায়োড (Semi conductor diode and triode) :

একটি *p*-জাতীয় ও একটি *n*-জাতীয় আংশিক তড়িৎবাহীর সংযোগে সেমি-পরিবাহী ডায়োড বা *p-n* ডায়োড তৈয়ারী হয়। একই সেমি-পরিবাহী



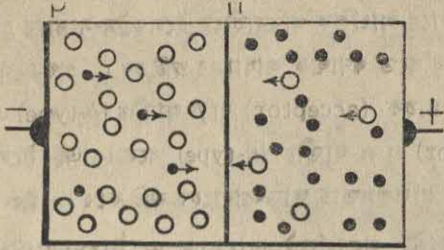
চিত্র 4.1

পদার্থে উপযুক্ত অপদ্রব্য মিশাইয়া *p*-জাতীয় এবং *n*-জাতীয় পদার্থ তৈয়ারী করা যায়। চিত্রে (4.1) এরূপ একটি সংযোগ (junction) দেখান হইল। ইহার একপার্শ্বে *p*-জাতীয় এবং অন্যপার্শ্বে *n*-জাতীয় জারমেনিয়াম সেমি-পরিবাহী আছে; *p*-জাতীয় অংশে তড়িৎ-প্রবাহ 'হোল' প্রবাহের দ্বারা এবং *n*-জাতীয় অংশে ইলেকট্রন প্রবাহের দ্বারা সংঘটিত হয়। এইভাবে সৃষ্ট ডায়োডে তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে তড়িৎ-



চিত্র 4.2a

প্রবাহ 'সামনের দিকে' (forward) ঘটে (চিত্র 4.2*a*)। ইহাতে *p*-অংশের ধনাত্মক 'হোল' অধিকসংখ্যায় *n*-অংশে এবং *n*-অংশের ইলেকট্রন অধিক-সংখ্যায় *p*-অংশে প্রবেশ করে। ইহার ফলে সংযোগের মধ্য দিয়া অধিকমাত্রায় তড়িৎপ্রবাহ ঘটে। প্রযুক্ত তড়িৎ-বিভবের অভিমুখ বদলাইয়া দিলে (চিত্র 4.2b) *p*-অংশে খুব কম-সংখ্যক ইলেকট্রন এবং *n*-অংশে খুব কমসংখ্যক ধনাত্মক 'হোল' থাকায় খুব ক্ষীণ তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয় অর্থাৎ তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ বিপরীত (reverse) করিলে সংযোগের মধ্য দিয়া তড়িৎপ্রবাহ কমিয়া যায়। অতএব এই ধরনের সংযোগ একমুখী তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি করে। ফলে ইহা ডায়োড ভাল্‌ভের সাহায্যে একমুখীকরণের অনুরূপ।



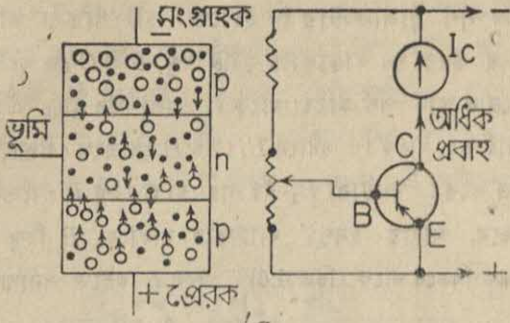
(b)

চিত্র 4.2b

সেমি-পরিবাহী ট্রায়োডে একটি সেমি-পরিবাহী পদার্থকে তিনটি অংশে ভাগ করা হয়। এই তিনটি অংশ হইল *p-n-p* বা *n-p-n* জাতীয়। বিশেষ পদ্ধতির সাহায্যে অপদ্রব্য মিশাইয়া এরূপ করা হয়। *p-n* সংযোগে যেমন *p*-কে অ্যানোড এবং *n*-কে ক্যাথোড বলা যাইতে পারে, এক্ষেত্রে সেইজন্য দুইটি *p* বা দুইটি *n*-এর একটিকে অ্যানোড ও অন্যটিকে ক্যাথোড বলা হয়। মাঝের *n* বা *p* অংশকে বলে ভূমি (base) এবং ইহা ট্রায়োডের গ্রীডের মত কাজ করে। ইহার কার্যনীতি সংক্ষেপে নিম্নরূপ:

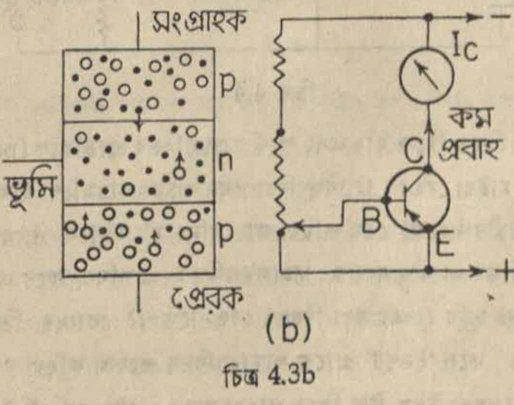
একটি *p-n-p* সমন্বয় লওয়া যাক। ইহার একপ্রান্তের *p*-কে বলে প্রেরক (remitter) ও অন্য প্রান্তের *p*-কে বলে সংগ্রাহক (collector)। *n*-অংশকে বলে ভূমি (base)। প্রেরক *p*-কে কোন প্রবাহের ধনাত্মক প্রান্তের সহিত এবং সংগ্রাহক *p*-কে ইহার ঋণাত্মক প্রান্তের সহিত যুক্ত করা হয় (চিত্র 4.3a)। এখন যদি ভূমিকে (*n*) প্রেরকের তুলনায় যথেষ্ট ঋণাত্মক বিভবে রাখা হয় (forward bias) তবে প্রেরক-ভূমি সংযোগ (*p-n* junction) একটি ডায়োড গঠন করে। তখন প্রেরক (*p*) হইতে ধনাত্মক 'হোল'গুলি ভূমিতে (*n*) পৌঁছে এবং সেখান হইতে সংগ্রাহকের ঋণাত্মক আধান কর্তৃক আকর্ষিত

হইয়া সংগ্রাহকে পৌছে (চিত্র 4.3a)। এই পদ্ধতিতে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা অধিক হয়।



চিত্র 4.3a

আর যদি প্রেরক-ভূমি সমন্বয়ের বিভব-প্রভেদ কম থাকে, তবে খুব কম-সংখ্যক 'হোল' সংগ্রাহকে পৌছায়—ফলে তড়িৎপ্রবাহের মাত্রাও খুব কম হয়



চিত্র 4.3b

(চিত্র 4.3b)। এইভাবে *p-n-p* সমন্বয়ে ট্রায়োডের মত তড়িৎপ্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

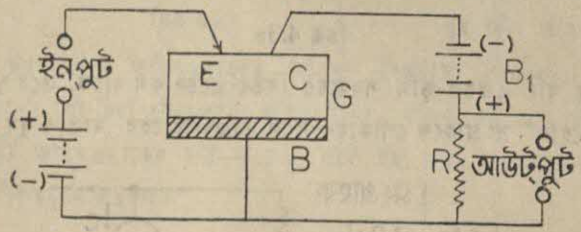
অনুরূপে দেখানো যায় যে, *n-p-n* সমন্বয়ও ট্রায়োড হিসাবে কাজ করে।

4.4b. ট্রানজিস্টার (Transistor) :

উপরোক্ত প্রক্রিয়ায় কার্যকরী সেমি-পরিবাহী সমন্বয়ের নাম ট্রানজিস্টার। তাপীয় আয়ন ভাল্‌ভের পরিবর্তে বেতার যন্ত্রে ইহার বহুল ব্যবহার হয়। গঠন-প্রণালীর তারতম্যের ফলে ট্রানজিস্টার প্রধানতঃ দুই প্রকারের হয়—

(i) বিন্দুস্পর্শ ট্রানজিস্টার (point contact transistor) ও (ii) সংযোগ-জাতীয় ট্রানজিস্টার (junction type transistor)।

(i) **বিন্দুস্পর্শ ট্রানজিস্টার :** ইহাতে একটি পাতলা জারমেনিয়াম কেলাস *G*-এর উপর খুব কাছাকাছি দুইটি বিন্দু, *E* ও *C*-তে দুইটি টাংস্টেন বা ফসফরাস ব্রোঞ্জ তার স্পর্শ করিয়া থাকে। কেলাসটির নীচে একটি ধাতব পাত *B* ঝালাই করা থাকে। এখানে *E*, *C* ও *B* যথাক্রমে প্রেরক, সংগ্রাহক ও ভূমির কাজ করে। ব্যাটারী B_1-এর সাহায্যে *C* বিন্দু *B* পাতের তুলনায় ঋণাত্মক বিভবে, আবার 'ইনপুট' ব্যাটারীর সাহায্যে *E* বিন্দু *B* পাতের তুলনায় ধনাত্মক বিভবে থাকে (চিত্র 4.4)। ফলে *E* হইতে ধনাত্মক 'হোল'

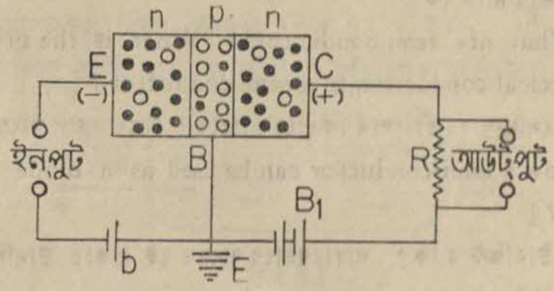


চিত্র 4.4

B পাত ও *C* বিন্দুর দিকে যায় এবং স্পর্শ তলের বিভব প্রাচীরকে (potential barrier) নামাইয়া দেয়। *C* বিন্দু দিয়া তখন প্রচুর পরিমাণে ইলেকট্রন ঐ নিম্ন বিভব প্রাচীর সহজেই ভেদ করিয়া জারমেনিয়াম কেলাসে প্রবেশ করে। ইহাদের সামান্য অংশ ধনাত্মক 'হোল'-গুলিকে প্রশমিত করে এবং বেশীর ভাগ ইলেকট্রনই ভূমি *B*-এর মধ্য দিয়া বহির্বর্তনীতে *R* রোধের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হয়। ফলে 'ইনপুট' প্রান্তে সামান্য বিভব প্রয়োগ করিয়া 'আউটপুট' প্রান্তে *R* রোধের উপর উচ্চ বিভব পাওয়া যায়। এইভাবে এই ট্রানজিস্টার ট্রায়োড ভালবের অনুরূপ বিবর্ধকরূপে কাজ করে।

(ii) **সংযোগ-জাতীয় ট্রানজিস্টার :** ইহা *n-p-n* বা *p-n-p* জাতীয় সেমি-পরিবাহী একটি জারমেনিয়াম বা সিলিকন কেলাস দ্বারা গঠিত। ইহার ভূমি খুব সরু (thin) করা হয়। *p-n-p* সংযোগের কার্যনীতি পূর্বেই আলোচিত হইয়াছে। ইহাতে ভূমি ঋণাত্মক এবং ইলেকট্রন কম থাকায়, ইহাতে তড়িৎ-প্রবাহ প্রধানতঃ ধনাত্মক 'হোল' প্রবাহে সংঘটিত হয়। অনুরূপে *n-p-n* সংযোগের ট্রানজিস্টারের ভূমি ধনাত্মক হয় এবং ইহাতে তড়িৎপ্রবাহ প্রধানতঃ

ইলেকট্রন প্রবাহের ফলে সংঘটিত হয়। চিত্রে একটি *n-p-n* ট্রানজিস্টারের তড়িৎ-বর্তনী দেখানো হইল (চিত্র 4.5)। ইহার প্রেরকপ্রান্ত (E) ঋণাত্মক (*n*-type) এবং ইহাতে ভূমি, B (*p*-type)-এর তুলনায় ঋণাত্মক 'ইনপুট' বিভব দেওয়া হয়—ফলে ইলেকট্রনগুলি *p*-এর দিকে ধাবিত হয়। *p*-অংশ খুব সরু হওয়ায় এই ইলেকট্রনগুলি *p*-এর 'হোল'-গুলির সাথে মিলিত হইবার খুব বেশী সুযোগ পাইবার পূর্বেই ভূমির ভিতর দিয়া প্রবেশ করিয়া দ্বিতীয় *p-n* সংযোগে আসিয়া পৌছে। সংগ্রাহক C (*n*-type) আবার ভূমির তুলনায়



চিত্র 4.5

ধনাত্মক বিভবগ্রস্ত থাকে—ফলে এই ইলেকট্রন-প্রবাহ আরও ত্বরান্বিত হয় এবং অবশেষে 'আউটপুট' প্রান্তের রোধ R-এর উপর উচ্চ বিভব উৎপন্ন করে। এইভাবে ইহা ট্রায়োডের মত বিবর্ধকরূপে কাজ করে। এই ব্যবস্থায় দ্বিতীয় *p-n* সংযোগে এইরূপ বিভব-পার্থক্য (reverse bias) থাকার ফলে ভূমি হইতে 'হোল' সংগ্রাহকে বা সংগ্রাহক হইতে ইলেকট্রন ভূমিতে আসিতে পারে না। ইহাতে প্রেরকের অপদ্রব্যের পরিমাণ আবার এমন থাকে যে, ভূমি হইতেও 'হোল' প্রেরকে বিশেষ যাইতে পারে না।

ট্রানজিস্টারের ব্যবহার ঃ বর্তমান যুগে ট্রানজিস্টারের এতই বহুল ব্যবহার হয় যে, ইহার তালিকা তৈয়ারী করা প্রায় অসম্ভব। যে সকল আধুনিক যন্ত্রে ভাল্‌ভ ব্যবহৃত হয় তাহাদের প্রত্যেকটিরই অত্যাধুনিক সংস্করণে ট্রানজিস্টার ব্যবহৃত হইতেছে। ইহার সবচেয়ে বড় সুবিধা হইল ইহার ক্ষুদ্র সাইজ, কম শক্তিতে কার্যকরী, এবং দীর্ঘকালস্থায়ী। ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র সিগ্‌ন্যাল বিবর্ধনে, একমুখী তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টিতে, কম-শক্তির স্পন্দকরূপে, পকেট সাইজ রেডিও ও ইলেকট্রনিক কমপিউটার বা গণকযন্ত্রে ট্রানজিস্টার নানাভাবে ব্যবহৃত হইতেছে।

প্রশ্নাবলী

1. বোরের পারমাণবিক গঠনতত্ত্ব বর্ণনা কর।

[Explain the Bohr atom model.]

2. প্রতিপ্রভা ও অনুপ্রভা কি? ইহা কিভাবে সংঘটিত হয়?

[What are fluorescence and phosphorescence? How are they formed?]

3. সেমি-পরিবাহী পদার্থ বলিতে কি বোঝায়? ইহাদের তড়িৎ-পরিবাহিতার নীতি কি?

[What are semi-conductors? What is the principle of electrical conduction in a semi-conductor?]

4. সেমি-পরিবাহী পদার্থ কিভাবে ডায়োড ও ট্রায়োডরূপে ব্যবহৃত হয়?

[How a semi-conductor can be used as a diode and a triode?]

5. ট্রানজিস্টার কি? সাধারণভাবে ব্যবহৃত দুই প্রকার ট্রানজিস্টারের কার্যনীতি বর্ণনা কর।

[What is a transistor? Explain the working principle of the two types of the commonly used transistors.]

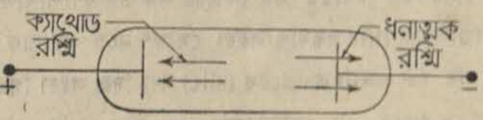
———

পঞ্চম অধ্যায়

পরমাণুর ভর নির্ণয় (Measurement of atomic masses)

5.1. সূচনা (Introduction) :

1886 খ্রীষ্টাব্দে গোল্ডস্টিন নামে একজন বিজ্ঞানী মোক্ষণ-নলের ক্যাথোডে কতকগুলি ছিদ্র করিয়া দেখিলেন যে, নলের বায়ুর চাপ 1 মি. মি. পারদের সমান হইলে ক্যাথোড-পাতের ছিদ্র দিয়া পাতের পশ্চাৎদিকে কতকগুলি উজ্জ্বল স্রোতধারা নির্গত হইতেছে (চিত্র 5.1)। ইহারা ক্যাথোড-রশ্মির বিপরীতদিকে ছুটিয়া চলে এবং চৌম্বক ও তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা ক্যাথোড-রশ্মির



চিত্র 5.1

বিচ্যুতির বিপরীত দিকে বিচ্যুত হয়। সুতরাং ইহারা ধনাত্মক আধানযুক্ত। তাছাড়া ইহাদের বিচ্যুতি ক্যাথোড-রশ্মির বিচ্যুতির তুলনায় কম হওয়ায় ইহারা ভারী কণার সমষ্টি।

পরবর্তী কালে নানা পরীক্ষার ফলে জানা গেল যে, মোক্ষণ-নলে যে গ্যাস থাকে তাহার অণু বা পরমাণুর ভরের সমান ভরবিশিষ্ট কিন্তু ধনাত্মক তড়িৎ-গ্রস্ত কণা দ্বারা ঐ রশ্মি গঠিত। তখন উহাদের নামকরণ করা হয় **ধনাত্মক রশ্মি** (positive rays)। ইহাদের উৎপত্তির কারণ হিসাবে জানা গেল যে, ক্যাথোড-রশ্মি (ইলেকট্রন) নির্গত হইয়া যখন অ্যানোডের দিকে ধাবিত হয় তখন উহারা মোক্ষণ-নলের গ্যাসের সহিত সংঘাত সৃষ্টি করিয়া ইহাদের অণু-পরমাণুকে আয়নিত করে। আয়নিত গ্যাস-অণু বা পরমাণু হইতে বিচ্যুত ইলেকট্রন ক্যাথোড-রশ্মির সহিত মিশিয়া অ্যানোডের দিকে ধাবিত হয় এবং অণু-পরমাণুর ধনাত্মক আয়নগুলি তখন ক্যাথোডের দিকে ছুটিয়া যায়। অর্থাৎ মোক্ষণ-নলের গ্যাসের ধনাত্মক আয়নিত অণু-পরমাণুগুলিই ধনাত্মক রশ্মি সৃষ্টি করে। গ্যাসের অণু-পরমাণুগুলি নলের বিভিন্ন দূরত্বে থাকাকালীন আয়নিত হয় বলিয়া, ইহাদের প্রত্যেকের উপর প্রযুক্ত বিভব-প্রভেদের মান সমান হয় না—ফলে ইহারা সমান বেগবান হয় না। তাছাড়া মোক্ষণ-নলে

বিভিন্ন গ্যাস থাকে এবং উহাদের অণু-পরমাণুর ভরও বিভিন্ন হয়—ফলে ভিন্ন ভরের জন্য উহাদের বেগও সমান হইবে না। আবার অণু-পরমাণুগুলি হইতে এক বা একাধিক ইলেকট্রন বিচ্যুতি ঘটিতে পারে—সেক্ষেত্রে ধনাত্মক কণাগুলিরও তড়িতাধান ভিন্ন হইবে, ফলে বেগও ভিন্ন হইবে।

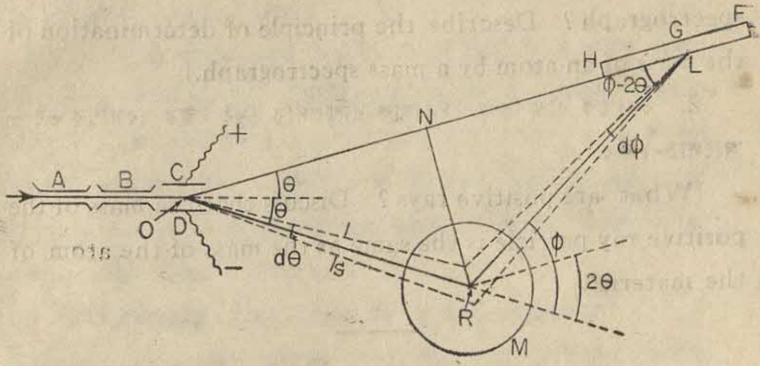
ধনাত্মক রশ্মি প্রকৃতপক্ষে গ্যাসের অণু-পরমাণু বলিয়া ইহার একটি কণার ভর নির্ণয় করিতে পারিলেই ঐ গ্যাসের অণু-পরমাণুর ভর পাওয়া যাইবে। ইহাই ধনাত্মক রশ্মি পর্যালোচনার মুখ্য উদ্দেশ্য।

5.2. ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রের কার্যনীতি (Working principle of mass spectrograph) :

বিভিন্ন মৌলের পরমাণুর ভর নির্ণয়ের জন্য ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। মৌলগুলির গ্যাসীয় পরমাণু লইয়া মোক্ষণ-নলে ধনাত্মক রশ্মি উৎপন্ন করা হয়। খুব সরু একাধিক স্লিটের (slit) মধ্য দিয়া লইয়া গিয়া এই ধনাত্মক রশ্মিগুলির উপর প্রথমে এক তড়িৎক্ষেত্র এবং কিছু দূরে এক চৌম্বকক্ষেত্র একই সঙ্গে প্রয়োগ করা হয়। এই দুই ক্ষেত্র পরস্পর সমকোণে থাকে। তড়িৎক্ষেত্রের প্রয়োগে প্রথমে ধনাত্মক রশ্মির আয়নগুলির গতিবেগের তারতম্যের ফলে বিচ্ছুরণ হয়। ইহাতে অধিক গতিশীল আয়নগুলির কম বিচ্ছুরণ এবং কম গতিশীল আয়নগুলির বেশীমাত্রায় বিচ্ছুরণ ঘটে। ফলে তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে আয়নগুলি কিছুটা ছড়াইয়া পড়ে। পরে চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে ইহাদের একই $e/M\left(\frac{\text{আধান}}{\text{ভর}}\right)$-যুক্ত কণাগুলির এক একটি রেখায় ফোকাস হয়। ফটোগ্রাফী কাগজের উপর এই রেখাগুলির আলোকচিত্র গ্রহণ করা হয়। ভরের তারতম্য অনুসারে পরমাণুর আয়নগুলি বিচ্ছুরিত হয় বলিয়া ইহাকে ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্র বলা হয়।

চিত্রে (5.2) অ্যাস্টনের নির্মিত ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রের একটি নক্সা দেখানো হইল। মোক্ষণ-নল হইতে ধনাত্মক রশ্মি A ও B ছিদ্রের মধ্য দিয়া পাঠাইলে সূক্ষ্ম রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। পরে C ও D পাত দুইটির সাহায্যে ইহার উপর বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয়। ইহাতে ধনাত্মক আয়নের কণাগুলি চিত্রে প্রদর্শিত দিকে বিচ্যুত হয়। কণাগুলির বিচ্যুতি $\frac{e}{Mv^2}$-এর সহিত সমানুপাতিক হয় (v=কণার গতিবেগ)। একই $\frac{M}{e}$ কিন্তু বিভিন্ন v-এর মানবিশিষ্ট কণাগুলি বিভিন্ন কোণে বিচ্যুত হয়। ফলে রশ্মির বিচ্ছুরণ

হয়। চিত্রে θ কণাগুলির গড় বিচ্যুতি এবং $d\theta$ ইহাদের বিচ্ছুরণ। রশ্মিগুলি S-রেখাছিদ্রের মধ্য দিয়া লইয়া গিয়া ইহাদের উপর তারপর বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের সহিত সমকোণে প্রযুক্ত চৌম্বকক্ষেত্র M প্রয়োগ করা হয়। চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা উৎপন্ন বিচ্যুতি (ϕ), e/Mv-এর সহিত সমানুপাতিক হয়। এই



চিত্র 5.2

চৌম্বকক্ষেত্রের দিক ও মান এমনভাবে উপযোজিত করা হয় যেন একই e/M কিন্তু বিভিন্ন বেগের কণাগুলি ($d\phi$ অভিসারী কোণে) একটি বিন্দু L-এ মিলিত হয়। বিভিন্ন e/M বিশিষ্ট কণাগুলি অবশ্য বিভিন্ন বিন্দুতে মিলিত হইবে। রশ্মিগুলি সরু রেখাছিদ্রের মধ্য দিয়া আসে বলিয়া বিন্দুর পরিবর্তে এক একটি ছোট রেখায় একই e/M বিশিষ্ট কণাগুলি আপতিত হয়। ফলে বিভিন্ন e/M বিশিষ্ট কণাগুলি বিভিন্ন রেখায় মিলিত হইবে এবং উপযুক্ত অবস্থানে রক্ষিত একটি ফটোগ্রাফিক প্লেটে (HF) বিভিন্ন e/M বিশিষ্ট কণাগুলির দ্বারা সৃষ্ট রেখাগুলির অবস্থানের সহিত কোন জানিত ভরের কণার দ্বারা সৃষ্ট রেখার সহিত তুলনা করিয়া অজানা কণার ভরের মান নির্ণয় করা যাইবে।

ফটোগ্রাফিক প্লেটের সুবিধামত অবস্থান নির্ণয়ের জন্য তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্রের উপযোজন এমন ভাবে করা যায় যাহাতে $\phi=4\theta$ হয় (চিত্র 5.2)। সেক্ষেত্রে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের মধ্যবিন্দু O এবং চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যবিন্দু R ধরিলে $OR=RL$ হয়। তখন ফটোগ্রাফিক প্লেটের অবস্থান G হইলে $ON=NG$ হয় ($RN \perp OG$)।

অ্যাস্টন ছাড়াও পরবর্তী কালে ডেম্প্‌স্টার, বেনব্রিজ, নায়ার প্রমুখ বিজ্ঞানীরা আরো অনেক উন্নত শ্রেণীর ভর বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রের উদ্ভাবন করেন।

প্রশ্নাবলী

1. পরমাণুর ভর বলিতে কি বোঝায়? ভর বর্ণালীবীক্ষণ কি? ইহার সাহায্যে ভর নির্ণয়ের নীতি বর্ণনা কর।

[What is meant by mass of an atom? What is mass spectrograph? Describe the principle of determination of the mass of an atom by a mass spectrograph.]

2. ধনাত্মক রশ্মি কি? ধনাত্মক রশ্মিকণার ভরই বস্তুর পরমাণুর ভর—আলোচনা কর।

[What are positive rays? Discuss that the mass of the positive ray particle is the same as the mass of the atom of the material.]

———

ষষ্ঠ অধ্যায়

পরমাণুর নিউক্লিয়াসের গঠন

(Structure of the nucleus of an atom)

6.1. সূচনা (Introduction) :

পরমাণুর গঠন সম্বন্ধে চতুর্থ অধ্যায়ে আলোচিত বিষয় হইতে তোমরা জান পরমাণুর কেন্দ্রে প্রোটন ও নিউট্রনের সমন্বয়ে গঠিত ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত নিউক্লিয়াস থাকে এবং ইহার চতুর্দিকে প্রোটনের সমসংখ্যক ও ঋণাত্মক তড়িৎবাহী ইলেকট্রন-কণা কয়েকটি কক্ষে ইহাকে পরিক্রমা করিতে থাকে। প্রোটনের ধনাত্মক ও ইলেকট্রনের ঋণাত্মক আধান পরস্পরকে নিষ্ক্রিয় করিয়া পরমাণুকে তড়িৎ-নিরপেক্ষ করিয়া রাখে।

6.2. নিউক্লিয়াসের গঠন (Structure of the nucleus) :

পরমাণুর নিউক্লিয়াসের গঠনতত্ত্ব এখন আলোচনা করা যাক্। রাদারফোর্ডের মতে প্রোটন ও নিউট্রনের সমন্বয়ে ধনাত্মক তড়িৎবাহী নিউক্লিয়াস সমগ্র পরমাণুর তুলনায় আয়তনে অতি ক্ষুদ্র। ইহার গড় ব্যাস (10^{-12} সে.মি.) পরমাণুর ব্যাসের (10^{-8} সে. মি.) দশ হাজার ভাগের একভাগ মাত্র। আয়তনে ইহা প্রায় একটি ইলেকট্রনের আয়তনের সমান। গড় হিসাবে নিউক্লিয়াসের আয়তন পরমাণুর সমগ্র আয়তনের 10^{-12} ভাগ মাত্র। নিউক্লিয়াসের এই অতি ক্ষুদ্র আয়তনের মধ্যেই পরমাণুর মূল পদার্থ সন্নিবিষ্ট থাকে। ফলে নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব বিস্ময়কর ভাবে বেশী (10^{12} গ্র্যাম/ সি.সি.)।

নিউক্লিয়াসের মধ্যে ধনাত্মক তড়িৎধর্মী প্রোটন ও তড়িৎবিহীন নিউট্রন-কণা অতি প্রচণ্ড শক্তিতে পরস্পরকে আকর্ষণ করিয়া পিণ্ডাবদ্ধ অবস্থায় থাকে। সাধারণ নিয়মে সমধর্মী প্রোটন-কণাগুলির পরস্পরকে বিকর্ষণ করা উচিত—সেক্ষেত্রে নিউক্লিয়াসটির ভাঙ্গিয়া যাওয়া স্বাভাবিক। ফলে নিউক্লিয়াসের কণাগুলিকে পিণ্ডাবদ্ধ অবস্থায় রাখার জন্য প্রচণ্ড শক্তির দরকার। নিউক্লিয়াসের এই শক্তির নাম **বন্ধন শক্তি** (binding energy)। দেখা গিয়াছে, নিউক্লিয়াসের ভর, নিউক্লিয়াসের প্রোটন ও নিউট্রনের সামগ্রিক ভরের তুলনায় কিঞ্চিৎ কম। আইনস্টাইনের মতে এই ভরের পার্থক্যই শক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া বন্ধন-শক্তিরূপে নিউক্লিয়াসের কণাগুলিকে পিণ্ডাবদ্ধ করিয়া রাখে।

নিউক্লিয়াসের মধ্যস্থিত প্রোটনের ভর একটি হাইড্রোজেন-পরমাণুর ভরের সমান এবং একটি ইলেকট্রনের ভরের ($\sim 10^{-27}$ গ্র্যাম) 1837 গুণ। ফলে

একটি প্রোটনের ওজন 1.672×10^{-24} গ্রাম এবং ইহা এক একক ধনাত্মক তড়িৎ ($+1·601 \times 10^{-24}$ কুলম্ব) বহন করে। একটি প্রোটনের ব্যাস প্রায় প্রায় 10^{-13} সে. মি.।

নিউক্লিয়াসের নিউট্রন তড়িৎ-নিরপেক্ষ কণা এবং ইহা কেবলমাত্র পরমাণুর ওজন বৃদ্ধি করে। ইহার ভর হাইড্রোজেন বা প্রোটনের ভরের সমান। 1932 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী শ্যাডুইক এই কণার অস্তিত্ব আবিষ্কার করেন। অনেক ক্ষেত্রে নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যা সমান সমান থাকে—তবে কোন কোন ক্ষেত্রে নিউট্রনের সংখ্যা কম-বেশী হইতে পারে। সাধারণভাবে ইলেকট্রন বা প্রোটনের সংখ্যা (পরমাণবিক সংখ্যা) Z এবং প্রোটন ও নিউট্রনের সম্মিলিত সংখ্যা (ভর-সংখ্যা) A হইলে নিউট্রন-সংখ্যা$=A-Z$ হয়।

6.3. পরমাণবিক সংখ্যা ও ভর-সংখ্যা (Atomic number and Mass number) :

পরমাণবিক সংখ্যা : যে-কোন মৌলিক পদার্থের একটি পরমাণুর নিউক্লিয়াসে যত সংখ্যক প্রোটন তথা ধনাত্মক আধান থাকে সেই সংখ্যাটিকে সেই মৌলিক পদার্থের পরমাণবিক সংখ্যা বলে।

যেমন, হাইড্রোজেনের পরমাণবিক সংখ্যা 1, অক্সিজেনের 8, ক্লোরিনের 17 ইত্যাদি। মৌলের মূল রাসায়নিক ধর্ম নির্ভর করে পরমাণবিক সংখ্যার উপর। পরমাণবিক সংখ্যা পরিবর্তিত হইলে মৌলের মূল ধর্ম পরিবর্তিত হইয়া যায়। ফলে ঐ মৌল অপর একটি নূতন মৌলে পরিণত হয়। কৃত্রিম ও প্রাকৃতিক মৌলিক পদার্থের সংখ্যা 103-টি—পরমাণুর নিউক্লিয়াসের প্রোটন-সংখ্যা (1 হইতে 103 পর্যন্ত) দ্বারা ইহাদের প্রত্যেকের পরিচয় জানা যায়। Periodic Table-এ প্রোটনের ক্রমিক সংখ্যানুসারে মৌলগুলির সাজানো থাকে।

ভর-সংখ্যা : কোন মৌলিক পদার্থের একটি পরমাণুর নিউক্লিয়াসে যে কয়টি প্রোটন ও নিউট্রন থাকে, তাহাদের যুক্ত সংখ্যাই সেই মৌলিক পদার্থের ভর-সংখ্যা।

অর্থাৎ ভর-সংখ্যা=প্রোটন-সংখ্যা+নিউট্রন-সংখ্যা

আবার প্রোটন-সংখ্যা মানেই পরমাণবিক সংখ্যা,

অতএব, ভর-সংখ্যা=পরমাণবিক সংখ্যা+নিউট্রন-সংখ্যা

বা নিউট্রন-সংখ্যা=ভর-সংখ্যা − পরমাণবিক সংখ্যা।

নিম্নের তালিকায় কয়েকটি সাধারণ পরমাণুর পরমাণবিক সংখ্যা, ভর-সংখ্যা ইত্যাদি দেখানো হইল।

কয়েকটি সাধারণ পরমাণু

পরমাণুর নাম	চিহ্ন বা প্রতীক	পরমাণবিক সংখ্যা (প্রোটনের সংখ্যা)	নিউট্রনের সংখ্যা	ইলেকট্রনের সংখ্যা	ভর-সংখ্যা
হাইড্রোজেন	H	1	0	1	1
হিলিয়াম	He	2	2	2	4
লিথিয়াম	Li	3	4	3	7
কার্বন	C	6	6	6	12
অক্সিজেন	O	8	8	8	16
সোডিয়াম	Na	11	12	11	23
ক্লোরিন	Cl	17	18	17	35
ক্যালসিয়াম	Ca	20	20	20	40
আয়রণ	Fe	26	30	26	56
কোবাল্ট	Co	27	32	27	59
টিন	Sn	50	69	50	119
সোনা	Au	79	118	79	197
ইউরেনিয়াম	U	92	146	92	238

6.4. সমস্থানিক (Isotope) :

কোন মৌলিক পদার্থের মৌলিকত্ব নির্ভর করে নিউক্লিয়াসে অবস্থিত প্রোটন-সংখ্যার উপর। নিউট্রনের সংখ্যা বিভিন্ন হইতে পারে। এইজন্য মৌলিক পদার্থের মৌলিকত্বের কোন রকম পরিবর্তন হয় না, কেবলমাত্র পরমাণবিক ওজনের পরিবর্তন ঘটে—কেননা, পরমাণবিক ওজন (atomic weight) নিউক্লিয়াসের প্রোটন ও নিউট্রনের যুক্ত ওজন দ্বারা নির্ণয় করা হয়। যেমন, হাইড্রোজেন-পরমাণুতে প্রোটনের সংখ্যা 1 কিন্তু ইহার পরমাণবিক ওজন 1, 2 বা 3 হইতে পারে। অর্থাৎ হাইড্রোজেনের তিনটি সমস্থানিক থাকে। ইহাদের নাম হাইড্রোজেন, ডয়টেরিয়াম ও ট্রিটিয়াম। হিলিয়ামের দুইটি, কার্বনের দুইটি, নাইট্রোজেনের দুইটি, অক্সিজেনের তিনটি, ক্লোরিনের দুইটি, ইত্যাদি সমস্থানিক আছে। অতএব সমস্থানিকের সংজ্ঞা হইল নিম্নরূপ :

একই মৌলের একাধিক পরমাণুর নিউক্লিয়াসে যদি সমানসংখ্যক প্রোটন কিন্তু বিভিন্ন সংখ্যক নিউট্রন থাকে, তবে পরমাণুগুলির ভর বিভিন্ন হয় এবং

সেই পরমাণুগুলিকে সেই মৌলিক পদার্থের সমস্থানিক বা আইসোটোপ বলা হইয়া থাকে।

ইহার এইরূপ নামকরণের অর্থ, Periodic Table-এ একই ঘরে ইহারা অবস্থান করে। বর্তমানে মৌলিক পদার্থের পরমাণুর নিউক্লিয়াসের নিউট্রন-সংখ্যা কৃত্রিম উপায়ে বাড়াইয়া বা কমাইয়া বহু নূতন নূতন কৃত্রিম আইসোটোপ তৈয়ারী করা হয়।

নিম্ন-তালিকায় কয়েকটি সাধারণ আইসোটোপের পরিচয় দেওয়া হইল।

কয়েকটি সাধারণ আইসোটোপ

মৌলের নাম	প্রোটন-সংখ্যা বা পরমাণবিক সংখ্যা (Atomic number)	নিউট্রন-সংখ্যা	ভর-সংখ্যা (Mass No.) প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যা
হিলিয়াম	2	1,2	3,4
কার্বন	6	6,7	12,13
নাইট্রোজেন	7	7,8	14,15
অক্সিজেন	8	8,9,10	16,17,18
ক্লোরিন	17	11,20	35,36
ইউরেনিয়াম	92	143,146	235,238

প্রশ্নাবলী

1. পরমাণুর নিউক্লিয়াসের গঠন বর্ণনা কর।

[Describe the structure of the nucleus of an atom.]

2. পরমাণবিক সংখ্যা ও ভর-সংখ্যার মধ্যে পার্থক্য কি? কয়েকটি উদাহরণ দাও।

[What is the difference between atomic number and mass number ? Give some examples.]

3. সমস্থানিক কি? কয়েকটি সমস্থানিকের উদাহরণ দাও।

[What is an isotope ? Give examples of some isotopes].

সপ্তম অধ্যায়

তেজস্ক্রিয়তা (Radioactivity)

7.1. তেজস্ক্রিয়তার আবিষ্কার (Discovery of radioactivity) **:**

1896 খ্রীষ্টাব্দে একজন ফরাসীবিজ্ঞানী হেন্‌রী বেকোরেল (Becquerel) তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কার করেন। ইহার কয়েক মাস পূর্বেই রঞ্জন এক্স-রে আবিষ্কার করিয়াছিলেন। বেকোরেল প্রকৃতপক্ষে এক্স-রশ্মির টিউবের কাচের দেওয়ালে সৃষ্ট প্রতিপ্রভার সঙ্গে কতকগুলি প্রতিপ্রভ বস্তুর উপর সূর্য-রশ্মির প্রভাবে সৃষ্ট অণুপ্রভার মধ্যে তুলনামূলক গবেষণা করিতেছিলেন। ইউরেনিয়াম-পটাসিয়াম সালফেট এইরূপ এক প্রতিপ্রভ বস্তু। পরীক্ষার দিন আকাশ মেঘাচ্ছন্ন থাকায় সূর্যালোকের অভাবে তিনি ইউরেনিয়াম-পটাসিয়াম সালফেটের একটি টুকরাকে কালো কাগজে মুড়িয়া একটি টেবিলের ড্রয়ারে রাখিয়া দিয়াছিলেন। ঐ ড্রয়ারের ভিতরই কালো কাগজে মোড়া কতকগুলি ফটোগ্রাফিক প্লেট ছিল। কয়েকদিন পরে ফটোগ্রাফিক প্লেটগুলি ব্যবহার করিতে গিয়া তিনি দেখিলেন যে, কালো কাগজে মোড়া এবং সূর্যরশ্মির প্রভাবমুক্ত থাকা সত্ত্বেও ইউরেনিয়াম-পটাসিয়াম সালফেটের টুকরাটি ফটো-গ্রাফিক প্লেটগুলিকে প্রভাবিত করিয়াছে। এই ঘটনা হইতেই তিনি সিদ্ধান্তে আসিলেন যে, সূর্যরশ্মির দ্বারা উজ্জীবিত না হইলেও উক্ত বস্তু অন্ধকারেই এমন শক্তিশালী রশ্মি বিকিরণ করে যাহা কালো কাগজের আবরণ ভেদ করিয়া ফটোগ্রাফিক প্লেটকে প্রভাবিত করে। পরবর্তীকালে একাধিক পরীক্ষার সাহায্যে বেকোরেল তাঁহার সিদ্ধান্তকে নির্ভুল প্রতিপন্ন করিতে সমর্থ হন। প্রথম দিকে সেইজন্য ইউরেনিয়াম হইতে সৃষ্ট এই রশ্মির নামকরণ করা হইয়াছিল "বেকোরেল রশ্মি"। পরবর্তীকালে ইউরেনিয়াম ছাড়া আরো কতকগুলি পদার্থ যেমন, থোরিয়াম, রেডিয়াম, পোলোনিয়াম, অ্যাকিনিয়াম প্রভৃতি আবিষ্কৃত হইল এবং ইহাদের প্রত্যেকটি হইতে অনুরূপ রশ্মি নির্গত হইতে দেখা গেল। তখন এই সব রশ্মির নামকরণ করা হয় 'তেজস্ক্রিয় রশ্মি' এবং এই ঘটনার নামকরণ করা হইল **তেজস্ক্রিয়তা** (radioactivity)।

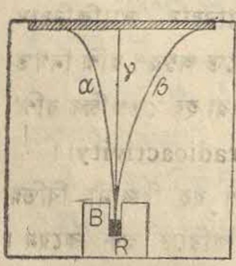
বেকোরেলের এই আবিষ্কারের পর নানা দেশে বহু বিজ্ঞানী বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় পদার্থ লইয়া ইহাদের গুণাবলী পরীক্ষা করিতে সুরু করেন। প্যারিসে মাদাম মেরী কুরী ও তাঁহার স্বামী পিয়ের কুরী ইউরেনিয়াম হইতে নির্গত এই রশ্মি লইয়া পরীক্ষা করিয়া দেখিলেন যে, ইহা বায়ুর অণুকে আয়নিত করিতে পারে। তাঁহারা 'পিচ ব্লেণ্ড' নামক ইউরেনিয়ামের একটি আকরিক

হইতে এক নতুন তেজস্ক্রিয় পদার্থ **'পোলোনিয়াম'** আবিষ্কার করেন। 1902 খ্রীষ্টাব্দে তাঁহারা **'রেডিয়াম'** নামক এক অতি তেজস্ক্রিয় মৌল আবিষ্কার করেন এবং এই আবিষ্কারের জন্য কুরী-দম্পতি 1903 খ্রীষ্টাব্দে নোবেল পুরস্কার পান।

7.2. আলফা (α), বিটা (β) ও গামা (γ) রশ্মি এবং ইহাদের গুণাবলী (α, β, and γ-rays and their properties) :

তেজস্ক্রিয় পদার্থসমূহ আবিষ্কৃত হওয়ার পর, ইহাদের গুণাবলী সম্বন্ধে নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষা চলিতে থাকে। তেজস্ক্রিয়তার প্রতিক্রিয়াসমূহ যেমন, ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর প্রভাব, আয়নয়ন, ভেদনক্ষমতা, প্রতিপ্রভ বস্তুতে স্ফুলিঙ্গায়ন (scintillation) সৃষ্টি, তাপোৎপাদন প্রভৃতি পর্যবেক্ষণ করিয়া বিভিন্ন বিজ্ঞানী তেজস্ক্রিয় রশ্মির প্রকৃতি নির্ধারণ করিতে সচেষ্ট হন। 1899 খ্রীষ্টাব্দে লর্ড রাদারফোর্ড ও তাঁহার সহযোগীরা ইউরেনিয়াম-নিঃসৃত তেজস্ক্রিয় রশ্মির আয়নয়ন ক্ষমতা পরীক্ষা করাকালীন লক্ষ্য করিলেন যে, ইহাতে দুই ধরনের রশ্মি বর্তমান—একটি ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত ও অপরটি ঋণাত্মক তড়িৎ-যুক্ত। ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত রশ্মিটির ভেদনক্ষমতা অপেক্ষাকৃত কম কিন্তু ইহার আয়নয়ন ক্ষমতা অনেক বেশী। অপরপক্ষে ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত রশ্মির ভেদন-ক্ষমতা অনেক বেশী কিন্তু আয়নয়ন ক্ষমতা কম। তিনি ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত রশ্মিটির নাম দেন আলফা (α)-রশ্মি এবং ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত রশ্মিটির নাম দেন বিটা (β)-রশ্মি। পরবর্তীকালে বিজ্ঞানী ভিলার্ড তেজস্ক্রিয় রশ্মির ভিতর এক্স-রশ্মির সমগোত্রীয় এবং অধিক ভেদন ক্ষমতাযুক্ত এক তৃতীয় রশ্মির অস্তিত্ব লক্ষ্য করেন। তিনি ইহার নামকরণ করেন গামা (γ)-রশ্মি।

এই তিন প্রকারের রশ্মির অস্তিত্ব সম্বন্ধে নিঃসন্দেহ হওয়ার জন্য মাদাম কুরী একটি সহজ পরীক্ষার ব্যবস্থা করেন। একটি সীসার ব্লকে (B) একটি ছোট গর্ত করিয়া ইহাতে কিছু রেডিয়ামঘটিত তেজস্ক্রিয় পদার্থ (R) রাখা হইল (চিত্র 7.1)। গর্ত হইতে তেজস্ক্রিয় রশ্মিসমূহ এক-মাত্র উপরের দিকে নির্গত হইবে। অন্যান্য দিকে ইহারা সীসার ভিতর শোষিত হইবে। এখন সীসার ব্লকের কিছু উপরে একটি ফটোগ্রাফিক প্লেট রাখা হইল এবং সমগ্র ব্যবস্থাটিকে একটি



চিত্র 7.1

বায়ুনিরুদ্ধ প্রকোষ্ঠের মধ্যে রাখা হইল। প্রকোষ্ঠ হইতে পাম্পের সাহায্যে

বায়ু নিষ্কাশনের ব্যবস্থা থাকে। এখন কাগজের তলের সহিত লম্বভাবে কাগজের পশ্চাৎ দিকে একটি শক্তিশালী চৌম্বকক্ষেত্র প্রয়োগ করা হইল। এই অবস্থায় ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর বেশ কিছুক্ষণ ধরিয়া তেজস্ক্রিয় রশ্মি পড়িতে দিলে এবং পরে প্লেটটিকে ডেভলপ করিলে, ইহার উপর তিন ধরনের দাগ স্পষ্ট দেখা যাইবে। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, মূল বিকিরণে তিনটি বিভিন্ন রশ্মি আছে। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে এক শ্রেণীর রশ্মি বাম দিকে এবং অন্য একশ্রেণীর রশ্মি দক্ষিণ দিকে বাঁকিয়া যায় এবং তৃতীয় শ্রেণীর রশ্মির কোন দিক্-বিচ্যুতি ঘটে না। প্রথম দুই শ্রেণীর রশ্মি নিঃসন্দেহে বিপরীত শ্রেণীর তড়িৎগ্রস্ত এবং তৃতীয় শ্রেণীর রশ্মি নিস্তড়িৎ। বাম দিকে বিচ্যুত রশ্মির বিচ্যুতি দক্ষিণ দিকে বিচ্যুত রশ্মির বিচ্যুতি অপেক্ষা কম দেখা গেল। ফলে বাম দিকে বিচ্যুত রশ্মিকণা দক্ষিণ দিকে বিচ্যুত রশ্মিকণা অপেক্ষা বেশী ভারী। চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ ও কণার বিচ্যুতির অভিমুখ ইত্যাদি হইতে মাদাম কুরী প্রমাণ করেন যে, বামে বিচ্যুত ভারী কণাগুলি ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত α-কণা এবং দক্ষিণে বিচ্যুত হাল্কা কণাগুলি ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত β-কণা। মধ্যস্থলের অবিচ্যুত রশ্মি হইল γ-রশ্মি, ইহা এক্স-রশ্মি বা সাধারণ আলোর ন্যায় এক তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ।

তেজস্ক্রিয় রশ্মিসমূহের নানা গুণাবলী পর্যালোচনা করিয়া বিজ্ঞানীরা তেজস্ক্রিয়তার নিম্নলিখিত কয়েকটি বৈশিষ্ট্য লক্ষ্য করিয়াছেন।

(i) তেজস্ক্রিয়তা একটি স্বতঃস্ফূর্ত নিউক্লীয় ঘটনা (nuclear phenomenon)। ফলে কোন বাহ্য প্রক্রিয়া দ্বারা ইহাকে নিয়ন্ত্রিত করা যায় না।

(ii) তেজস্ক্রিতায় α, β ও γ-এই তিন প্রকারের রশ্মি বিকিরিত হয়।

α-রশ্মির ধর্মাবলী :

(i) তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে α-কণা বিভিন্ন বেগে নির্গত হয়। এই বেগ 1.4×10^9 সে. মি/সেকেণ্ড হইতে 1.7×10^9 সে. মি/সে. পর্যন্ত হয়। α-কণার ভর 6.6×10^{-24} গ্র্যাম এবং ইহা আয়নিত হিলিয়াম পরমাণুর ভরের সমান।

(ii) ইহারা প্রতিপ্রভ বস্তুতে স্ফুলিঙ্গায়ণের সৃষ্টি করে।

(iii) ইহারা তীব্র আয়নয়ণ সৃষ্টি করিতে পারে।

(v) ইহারা বস্তুতে সহজেই শোষিত হয়। খুব পাতলা অভ্র বা সোনার পাতে ইহাদের বিক্ষেপণ হয়।

(vi) চৌম্বক বা বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে ইহারা বিচ্যুত হয়। ইহাদের

বিচ্যুতির অভিমুখ হইতে প্রমাণিত হয় যে, ইহারা ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত। ইহাদের তড়িতাধানের পরিমাণ $9{\cdot}56 \times 10^{-10}$ e. s. u.

β-রশ্মির ধর্মাবলী :

(i) তেজস্ক্রিয় পদার্থ হইতে নির্গত β-কণার বেগ আলোর গতিবেগের 0·3 হইতে 0·98 গুণ পর্যন্ত হয়। ইহাদের ভর ও তড়িতাধান ইলেকট্রনের ভর ও তড়িতাধানের সমান। ইহারা প্রকৃতপক্ষে ইলেকট্রন কণিকার সমষ্টি এবং ইহারা α-কণার $1/_{7400}$ গুণ ভারী।

(ii) ইহারা প্রতিপ্রভ বস্তুতে প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে।

(iii) ইহারা ফটোগ্রাফী প্লেটকে প্রভাবিত করে।

(iv) ইহারা গ্যাসকে আয়নিত করে, তবে α-কণা অপেক্ষা ইহাদের আয়নয়ণ ক্ষমতা অনেক কম।

(v) α-কণার তুলনায় ইহাদের ভেদনক্ষমতা অনেক বেশী। ইহারা প্রায় 1 সে. মি. পুরু অ্যালুমিনিয়াম পাতকে ভেদ করিতে পারে।

(vi) ইহারা চৌম্বক ও তড়িৎ ক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয়। বিচ্যুতির দিক হইতে প্রমাণিত হয় যে, ইহারা ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত কণার সমষ্টি।

γ-রশ্মির ধর্মাবলী :

(i) γ-রশ্মি α, β রশ্মির মত কণার সমষ্টি নয়, ইহা প্রকৃতপক্ষে খুব কম দৈর্ঘ্যের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ। ইহার গতিবেগ আলোর গতিবেগের (3×10^{10} সে. মি./সে.) সমান এবং ইহার সমস্ত আলোকীয় ধর্মাবলী আছে।

(ii) γ-রশ্মি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে এবং ফটোগ্রাফী প্লেটকে প্রভাবিত করে।

(iii) ইহা গ্যাসকে সামান্য আয়নিত করে।

(iv) ইহার ভেদনক্ষমতা খুবই বেশী—ইহা কয়েক সে. মি. পুরু সীসার পাতকেও ভেদ করিতে পারে।

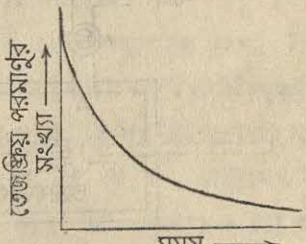
(v) ইহা চৌম্বক বা তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয় না। ইহার ধর্ম এক্স-রশ্মির অনুরূপ, তবে ইহার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য এক্স-রশ্মির তুলনায় অনেক ছোট।

7.3. তেজস্ক্রিয় ভাঙন (Radioactive decay) :

তেজস্ক্রিয় বস্তুসমূহের তেজস্ক্রিয়তার উৎস সম্বন্ধে রাদারফোর্ড ও সোডি এক সরল ব্যাখ্যা দেন। যেহেতু তেজস্ক্রিয়তা একটি স্বতঃস্ফূর্ত নিউক্লীয় ঘটনা, তেজস্ক্রিয় বস্তুর পরমাণুর নিউক্লিয়াসে সর্বদাই এক শ্রেণীর ভাঙন চলিতে থাকে। এই ভাঙনের সঙ্গে সঙ্গে তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গত হয় এবং মূল পদার্থটি নতুন মৌলে রূপান্তরিত হয়। এই নতুন মৌলও তেজস্ক্রিয় হইলে ইহারও অনুরূপ

ভাঙন হয় এবং পুনরায় অন্য এক নতুন মৌলের সৃষ্টি হয়। এই রূপান্তর চলিতে চলিতে অবশেষে এক সময়ে এক অতেজষ্ক্রিয় মৌল পাওয়া যাইবে। এই ঘটনার নামই **তেজষ্ক্রিয় ভাঙন** বা ক্ষয় এবং এইরূপ ভাঙনে রূপান্তরিত বিভিন্ন বস্তুর নাম ক্ষয়জাত বস্তু (decay products)।

কোন তেজষ্ক্রিয় পদার্থের বিভিন্ন ক্ষয়জাত বস্তু বিশ্লেষণ করিয়া রাদারফোর্ড ও সোডি তেজষ্ক্রিয় ভাঙ্গনের হার সম্বন্ধে এক সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্রানুসারে কোন তেজষ্ক্রিয় পরমাণুর ভাঙন এক সম্পূর্ণ দৈব ঘটনা, তবে কোন সময়ে তেজষ্ক্রিয় পরমাণুগুলির ভাঙনের হার ঐ সময়ে উপস্থিত অক্ষত পরমাণুগুলির সংখ্যার সমানুপাতিক। ফলে, সুরুতে এই তেজষ্ক্রিয় ভাঙনের হার সর্বাধিক হয় এবং সময় যত অতিবাহিত হইতে থাকে, ততই ভাঙনের হার মন্থর হইতে থাকে। ফলে ভাঙন সম্পূর্ণ হইতে অসীম সময়ের প্রয়োজন হয়। এই নিয়মে তেজষ্ক্রিয় ভাঙন একটি সূচকীয় সূত্র (exponential law) মানিয়া চলে। এই সূত্রানুসারে বিভিন্ন সময়ে তেজষ্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যা একটি সূচকীয় লেখ হইতে জানিতে পারা যায় (চিত্র 7.2)।



চিত্র 7.2

অর্ধায়ু (half-life) :

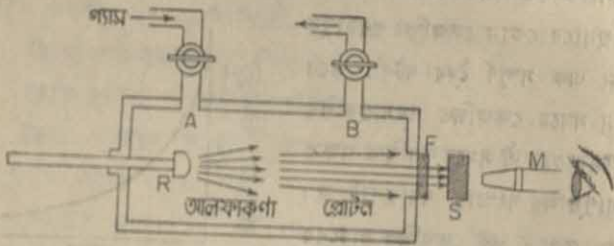
বিভিন্ন তেজষ্ক্রিয় পদার্থের ভাঙনের হার তুলনা করিবার জন্য 'অর্ধায়ু' কথাটি ব্যবহার করা হয়। কোন তেজষ্ক্রিয় পদার্থের পরমাণুগুলি ভাঙিয়া প্রারম্ভিক সংখ্যার অর্ধেক হইতে যত সময় লাগে, তাহাকে তেজষ্ক্রিয় পদার্থটির অর্ধায়ু বলে। সূচকীয় সূত্র প্রয়োগে বিভিন্ন তেজষ্ক্রিয় বস্তুর অর্ধায়ু বাহির করা যায়। দেখা গিয়াছে কোন কোন তেজষ্ক্রিয় বস্তুর অর্ধায়ু খুব কম আবার কোন কোন বস্তুর অর্ধায়ু খুবই বেশী। যেমন, রেডিয়ামের অর্ধায়ু 1622 বৎসর; আবার রেডিয়ামের ভাঙনে সৃষ্ট র‍্যাডনের অর্ধায়ু মাত্র 4 দিন। অনুরূপে ইউরেনিয়াম (U^{238})-এর অর্ধায়ু 4.6×10^9 বৎসর।

7.4. কৃত্রিম মৌলান্তর (Artificial transmutation) :

এক মৌলকে আর এক মৌলে রূপান্তরিত করিবার নামই মৌলান্তর। তেজষ্ক্রিয় পদার্থের মৌলান্তর প্রাকৃতিক ঘটনা। কৃত্রিম উপায়ে মৌলান্তর সৃষ্টি করিতে পারিলে, তাহাকে কৃত্রিম মৌলান্তর বলে। তেজষ্ক্রিয়তা আবিষ্কৃত

হওয়ার পর, বিজ্ঞানীরা দেখিলেন যে, কৃত্রিম উপায়ে বস্তুর নিউক্লিয়াসকে ভাঙিতে পারিলে কৃত্রিম মৌলান্তর হইবে। তেজস্ক্রিয় বস্তু হইতে নির্গত α-কণার প্রচণ্ড গতিবেগ লক্ষ্য করিয়া রাদারফোর্ড α-কণার সাহায্যে নিউক্লিয়াসকে ভাঙিয়া মৌলান্তরের চেষ্টা করিলেন। তাঁহার পরীক্ষা-ব্যবস্থাটি নিম্নরূপ :

একটি ধাতব নলের একপ্রান্তে একটি রূপার পাতের (F) জানালা আছে (চিত্র 7.3)। জানালার বাহিরে একটি জিঙ্ক সালফাইডের (প্রতিপ্রভ বস্তু)



চিত্র 7.3

পর্দা (S) আছে। নলের অন্যপ্রান্তের মধ্য দিয়া একটি চলমান দণ্ড (R) ঢোকানো আছে। দণ্ডের যে প্রান্ত নলের ভিতরে আছে, সেই প্রান্তে α-কণার উৎস হিসাবে একটু রেডিয়াম জমা করা আছে। নলের গায়ে দুইটি পার্শ্ব নল A ও B লাগানো আছে। A দিয়া কোন গ্যাস নলে ঢোকানো যায় এবং B দিয়া গ্যাস বাহির করিয়া দেওয়া যায়। এখন রেডিয়াম হইতে নির্গত α-কণা রূপার পাত (F) ভেদ করিয়া প্রতিপ্রভ পর্দা (S)-এ স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টি করিতে পারে। বিপরীত দিকে রাখা একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের (M) সাহায্যে এই স্ফুলিঙ্গায়ন লক্ষ্য করা যায়।

R দণ্ডকে পিছনের দিকে সরাইয়া ইহার অবস্থান এমন করা হইল যেন, R হইতে নির্গত α-কণা রূপার পাতে পৌঁছাইতে না পারে। এই অবস্থায় প্রতিপ্রভ পাতে (S) কোন স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টি হইবে না। এই অবস্থায় রাদারফোর্ড নলে অক্সিজেন গ্যাস ঢুকাইলেন। কিন্তু α-কণা ভারী অক্সিজেন নিউক্লিয়াসকে ধাক্কা দিয়া যথেষ্ট গতিশীল করিতে না পারায়, ইহাদের প্রভাবেও কোন স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টি হইল না। পরে তিনি নলে নাইট্রোজেন প্রবেশ করাইয়া দেখিলেন যে, প্রতিপ্রভ পর্দায় যথেষ্ট স্ফুলিঙ্গায়ন হইতেছে। তিনি পরীক্ষা করিয়া দেখিলেন যে, প্রতিপ্রভ পর্দায় (S) আঘাত করিয়া স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টির মূলে রহিয়াছে হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস বা প্রোটন (কারণ হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াসে একটি প্রোটন কণা থাকে)। এখন প্রশ্ন হইল, নলের ভিতর এই হাইড্রোজেন

নিউক্লিয়াস বা প্রোটনের উৎস কি? রাদারফোর্ডের ব্যাখ্যা হইল, অতি বেগবান α-কণা নাইট্রোজেন নিউক্লিয়াস হইতে প্রোটন কণাকে ধাক্কা দিয়া বাহির করিয়া দিয়াছে এবং নাইট্রোজেন নিজে মৌলান্তরিত হইয়া অক্সিজেন নিউক্লিয়াসে পরিণত হইয়াছে। এই বেগবান প্রোটন কণাই এখন কণার পাত ভেদ করিয়া প্রতিপ্রভ পর্দায় স্ফুলিঙ্গায়ন সৃষ্টি করিয়াছে। এই ঘটনার নিউক্লীয় বিক্রিয়াকে নিম্নলিখিতরূপে প্রকাশ করা যায়:

$$_7N^{14} + {_2He^4} \rightarrow {_8O^{17}} + {_1H^1} \text{ (প্রোটন)}$$

ইহার ব্যাখ্যা হইল—ভরসংখ্যা 14 এবং পরমাণবিক সংখ্যা 7 বিশিষ্ট নাইট্রোজেন পরমাণুর নিউক্লিয়াসের (7টি প্রোটন ও 7টি নিউট্রনযুক্ত) সহিত 2টি প্রোটন ও 2টি নিউট্রন যুক্ত α-কণা বা হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের সংঘাতে একটি উচ্চশক্তি সম্পন্ন প্রোটন ($_1H^1$) নিঃসৃত হয় ও নাইট্রোজেন 17 ভর সংখ্যাযুক্ত অক্সিজেন সমস্থানিকে পরিণত হয়। এই প্রক্রিয়ায় নাইট্রোজেনের মৌলান্তরের ফলে উপরোক্ত অক্সিজেন সমস্থানিক সৃষ্টি হয়।

এই পরীক্ষায় কৃতকার্যতার পর রাদারফোর্ড ও তাঁহার সহকারী স্যাড্উইক আলফা কণার সংঘাতে আরো অনেক মৌলান্তর ঘটাইতে সমর্থ হন এবং প্রত্যেকক্ষেত্রেই দ্রুতগতি সম্পন্ন প্রোটন পান। তাঁহারা দেখিতে পান যে, প্রোটনকণার শক্তি সংঘাত সৃষ্টিকারী α-কণার শক্তি অপেক্ষা অনেক বেশী। এই অতিরিক্ত শক্তির উৎস হইল নিউক্লিয়াসের ভাঙনে মুক্ত নিউক্লীয় শক্তি।

1930 খ্রীষ্টাব্দে জার্মান বিজ্ঞানী বোথে ও বেকার দেখিলেন যে, বেরিলিয়াম বা অনুরূপ কোন হাল্কা মৌলকে আলফা-কণা দ্বারা আঘাত করিলে প্রোটনের পরিবর্তে অন্য এক অধিক শক্তিশালী বিকিরণ পাওয়া যাইতেছে। এই বিকিরণের শক্তি পরীক্ষা করিয়া স্যাড্উইক সিদ্ধান্ত করিলেন যে, ইহার উৎস হইল নিস্তড়িৎ ও প্রোটনের সমভর বিশিষ্ট নিউট্রন কণা। বেরিলিয়ামের সহিত আলফা কণার নিউক্লীয় বিক্রিয়ার সমীকরণ হইল নিম্নরূপ:

$_4Be^9 + {_2He^4} \rightarrow {_6C^{12}} + {_0n^1}$ (নিউট্রন—ভর সংখ্যা 1, পরমাণবিক সংখ্যা 0), এই প্রক্রিয়ায় বেরিলিয়ামের মৌলান্তরে কার্বন সৃষ্টি হয়।

74a. তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক (Radio-isotopes):

দেখা যাইতেছে, কোন শক্তিশালী রশ্মিকণার প্রয়োগে নানা প্রকারের কৃত্রিম মৌলান্তর ঘটানো যায়। পরবর্তীকালে α-কণা, β-কণা, γ রশ্মি প্রভৃতি প্রাকৃতিক রশ্মি এবং প্রোটন, নিউট্রন, ডয়টেরিয়াম প্রভৃতি কণাকে কৃত্রিম উপায়ে গতিশীল করিয়া মৌলান্তরের কাজে লাগানো হয়। এইরূপ মৌলান্তরে

অনেক সময় কৃত্রিম **তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক** (radio isotopes) উৎপন্ন হয়। নিম্নে নিউট্রন বিক্রিয়ার সাহায্যে এইরূপ কয়েকটি মৌলান্তর দেখানো হইল :

(*i*) লিথিয়াম-নিউট্রন বিক্রিয়া :

$_3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow {}^*{}_1H^3$ (তেজস্ক্রিয় ট্রিটিয়াম সমস্থানিক) $+ {}_2He^4$

তেজস্ক্রিয় (*) ট্রিটিয়াম নিউক্লিয়াস (অর্ধায়ু 12.5 বৎসর) β-রশ্মি নিঃসারক এবং ইহার ক্ষয় নিম্নরূপ :

$^*{}_1H^3 \rightarrow {}_2He^3$ (হিলিয়াম সমস্থানিক) $+ {}_{-1}e^0$ (ইলেকট্রন)

(*ii*) ম্যাগনেসিয়াম-নিউট্রন বিক্রিয়া :

$_{12}Mg^{24} + {}_0n^1 \rightarrow {}^*{}_{11}Na^{24}$ (তেজস্ক্রিয় সোডিয়াম সমস্থানিক) $+ {}_1H^1$

তেজস্ক্রিয় (*) সোডিয়াম সমস্থানিক (অর্ধায়ু প্রায় 15 ঘণ্টা) β-কণা নিঃসরণ করিয়া পুনরায় ম্যাগনেসিয়ামে পরিণত হয় :

$^*{}_{11}Na^{24} \rightarrow {}_{12}Mg^{24} + {}_{-1}e^0$

এইরূপ আরও কয়েকটি বিক্রিয়া :

(*iii*) $_7N^{14} + {}_0n^1 \rightarrow {}^*{}_6C^{14} + {}_1H^1$

$^*{}_6C^{14} \rightarrow {}_7N^{14} + {}_{-1}e^0$; (অর্ধায়ু 10^3 বৎসরের অধিক)

(*iv*) $_{13}Al^{27} + {}_0n^1 \rightarrow {}^*{}_{12}Mg^{27} + {}_1H^1$

$^*{}_{12}Mg^{27} \rightarrow {}_{13}Al^{27} + {}_{-1}e^0$ (অর্ধায়ু প্রায় 10 মিনিট)।

(ii), (iii) ও (iv)-নং বিক্রিয়া পর্যালোচনা করিলে দেখা যায় যে, এইসব ক্ষেত্রে উপজাত বস্তু (end product) ও প্রারম্ভিক বস্তু একই।

এইরূপ পদ্ধতিতে সৃষ্ট তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক নানা কাজে লাগে। চিকিৎসা-বিজ্ঞানে তেজস্ক্রিয় রেডিয়াম বা কোবাল্ট ব্যবহারে প্রাথমিক অবস্থায় ক্যানসার রোগ সারানো যায়। তেজস্ক্রিয় কার্বনের ক্ষয় মাপিয়া (carbon dating) কোন বস্তুর প্রাচীনত্ব জানা যায়। এছাড়া সন্ধানী মৌল (tracer element)-হিসাবে তেজস্ক্রিয় সমস্থানিকের বহুল ব্যবহার হয়।

7.4b. ভর ও শক্তির সমতুল্যতা (mass-energy equivalence) :

উপরি-বর্ণিত নিউক্লীয় বিক্রিয়াগুলি আইনস্টাইনের ভর ও শক্তির সমতুল্যতাসূত্র ($E = mc^2$, E = শক্তি, m = ভর, c = আলোর গতিবেগ) মানিয়া চলে। ষষ্ঠ অধ্যায়ে নিউক্লিয়াসের বন্ধন শক্তির উৎস হিসাবে বলা হইয়াছে যে, কোন নিউক্লিয়াসের ভর ইহার অভ্যন্তরস্থিত প্রোটন ও নিউট্রন কণাসমূহের মোট ভর অপেক্ষা কিছু কম। নিউক্লিয়াসের ভরের এই হ্রাসকে বলে ভর-ঘাটতি (mass defect)। আইনস্টাইনের সূত্রানুসারে

($E=mc^2$) এই ভরঘাটতিই নিউক্লিয়াসের বন্ধন শক্তির উৎস। এই সূত্র হইতে দেখানো যায় যে এক পরমাণবিক ভর একক ($1\ a.\ m.\ u.=1.646\times 10^{-24}$ গ্রাম) ভর হ্রাসে 931 *Mev* শক্তি মুক্ত হয়। অতএব কোন নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় কোন পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ভাঙন সৃষ্টি করিতে হইলে, বাহির হইতে নিউক্লিয়াসের ভর ঘাটতির সমতুল শক্তি অপেক্ষা কিছু বেশী শক্তি সরবরাহ করিতে হইবে। যে কোন নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় অবশ্য সামগ্রিকভাবে ভরবেগ ও শক্তির নিত্যতাসূত্র পালিত হয়।

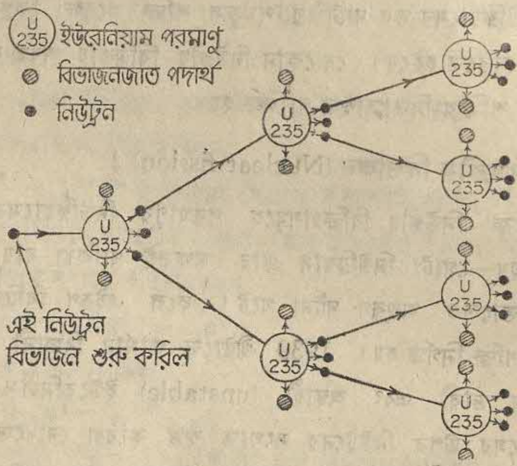
7.5. নিউক্লীয় বিভাজন (Nuclear fission) :

পূর্বোক্ত নিউক্লীয় বিক্রিয়াসমূহে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ভাঙন খুব সামান্য হয়—গোটা নিউক্লিয়াস প্রায় অক্ষতই থাকিয়া যায়। প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তাতেও অনুরূপ ঘটনা ঘটে। ফলে এইরূপ বিক্রিয়ায় খুব কম পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়। 1939 খ্রীষ্টাব্দে জার্মান বিজ্ঞানী অটো হান্ ও স্ট্রাসম্যান ভারী এবং অস্থায়ী (unstable) ইউরেনিয়াম (${}_{92}U^{235}$) নিউক্লিয়াসের উপর নিউট্রনের সংঘাত সৃষ্টি করিয়া দেখিতে পাইলেন যে নিউক্লিয়াসটি প্রায় সমান দুই টুকরাতে বিভক্ত হইয়া পড়িল। পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণিত হইল যে টুকরা দুইটির একটি তেজস্ক্রিয় বেরিয়াম ও অন্যটি ক্রিপটন। নিউক্লিয়াসের এই ধরণের ভাঙনের নামকরণ করা হইল **নিউক্লীয় বিভাজন**। এই বিভাজনের সবচেয়ে বড় বৈশিষ্ট্য হইল যে ইহাতে সাধারণ ভাঙনের তুলনায় বহুগুণ বেশী শক্তি (তাপশক্তি) নির্গত হয় এবং একাধিক নিউট্রন মুক্ত হয়। প্রক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

$${}_{92}U^{235}+{}_0n^1\rightarrow{}_{92}U^{236}\rightarrow{}_{56}Ba^{147}+{}_{36}Kr^{86}+3{}_0n^1+\text{শক্তি}$$

এই প্রক্রিয়ায় নিঃসৃত তিনটি নিউট্রন আবার তিনটি ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসের বিভাজন সৃষ্টি করিয়া 9টি নিউট্রন মুক্ত করে। এই 9টি নিউট্রন আবার 9টি নিউক্লিয়াসের বিভাজন ঘটাইবে। এইরূপে ব্যাপকহারে প্রক্রিয়াটির পুনরাবৃত্তি ঘটিবে। এইজন্য এই পদ্ধতিকে **শৃঙ্খল বিক্রিয়া** (chain reaction) বলে। চিত্রে এরূপ এক শৃঙ্খল-বিক্রিয়া দেখানো হইল (চিত্র 7.4)। ইহাতে কেবলমাত্র দুইটি নিউট্রনের শৃঙ্খল বিক্রিয়া দেখানো হইয়াছে। শৃঙ্খল বিক্রিয়ার ফলে উদ্ভূত তাপশক্তির পরিমাণ বহুগুণ বৃদ্ধি পাইবে। এই শৃঙ্খল বিক্রিয়া চালু রাখিতে অবশ্য ইউরেনিয়াম খণ্ডের এক নির্দিষ্ট ন্যূনতম সাইজ লইতে হইবে নচেৎ নিউট্রন ইউরেনিয়াম খণ্ড হইতে নির্গত হইয়া যাইবে।

ব্যবহার : শৃঙ্খল বিক্রিয়ায় উদ্ভূত তাপশক্তির পরিমাণ সম্বন্ধে জানা গিয়াছে যে এক পাউণ্ড ইউরেনিয়াম বিভাজনের ফলে 2,000,000 পাউণ্ড কয়লার দহনের সমান তাপশক্তি পাওয়া যায়। এই বিপুল পরিমাণ শক্তিকে দুইভাবে ব্যবহার করা যায়। ইহার একরকম ব্যবহার হইল বিশ্বধ্বংসী পর-



চিত্র 7.4

মানবিক বোমা (Atomic Bomb)। ইহাতে অতি অল্প সময়ে প্রচুর তাপ-শক্তি সৃষ্টি হইয়া সমস্ত কিছু পুড়াইয়া দিতে পারে। দ্বিতীয় বিশ্বযুদ্ধে হিরোসীমা ও নাগাসাকিতে পরমানবিক বোমার ধ্বংসাত্মক ব্যবহার হইয়াছিল।

আবার, অন্য একভাবে এই বিপুল পরমানবিক শক্তিকে নিয়ন্ত্রিত করিয়া মানব কল্যাণেও নিয়োজিত করা যায়। বিজ্ঞানীরা নিউক্লিয়ার রিয়্যাক্টারে এই শৃঙ্খল বিক্রিয়ার গতি নিয়ন্ত্রিত করিয়া উদ্ভূত তাপশক্তিকে নিয়ন্ত্রণ করিতে সমর্থ হইয়াছেন। এই নিয়ন্ত্রিত তাপশক্তির সাহায্যে জলকে বাষ্পে পরিণত করিয়া ষ্টীম-টারবাইন চালানো হইতেছে এবং ইহার সাহায্যে জেনারেটর ঘুরাইয়া বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন করা হইতেছে। তাছাড়া আজকাল সাবমেরিন, জাহাজ প্রভৃতিতেও এই শক্তি ব্যবহৃত হইতেছে।

7.6. নিউক্লীয় একীকরণ (Nuclear fusion) :

পরমাণুর নিউক্লিয়াস হইতে শক্তি আহরণের আর এক পদ্ধতি হইল নিউক্লীয় একীকরণ। ভারী অস্থায়ী পরমাণুর নিউক্লীয়াসকে ভাঙ্গার পরিবর্তে এই পদ্ধতিতে দুইটি হাল্কা নিউক্লীয়াসকে একীকরণ করিয়া একটি অপেক্ষাকৃত ভারী নিউক্লিয়াস তৈয়ারী করা হয়। এই প্রক্রিয়াতেও নিউক্লীয় শক্তি

নিঃসরিত হয়। ডয়টেরিয়াম ও ট্রিটিয়াম নামক হাইড্রোজেনের দুইটি সমস্থানিক নিউক্লিয়াসের অনুরূপ একীকরণ প্রক্রিয়ায় হিলিয়াম নিউক্লিয়াস তৈয়ারী হয় এবং একটি নিউট্রন মুক্ত হয়। প্রক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

$$_1H^3 + {}_1D^2 \rightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1 + \text{শক্তি}$$

কিন্তু এই একীকরণ প্রক্রিয়া সংঘটিত হইতে 30,000,000°C উষ্ণতার অধিক তাপমাত্রার প্রয়োজন হয়।

হাইড্রোজেন বোমা (Hydrogen bomb) এইরূপ এক অনিয়ন্ত্রিত নিউক্লীয় একীকরণের পদ্ধতিতে কাজ করে। ইহার শক্তি পরমানবিক বোমার প্রায় 1000 গুণ বেশী। ইহার অভ্যন্তরে একটি পরমানবিক বোমাকে প্রথমে কার্যকরী করিয়া উপরোক্ত তাপমাত্রা সৃষ্টি করা হয়। পরে ঐ তাপমাত্রায় ডয়টেরিয়াম ও ট্রিটিয়ামের একীকরণ করিয়া ইহাকে কার্যকরী করা হয়।

সূর্য ও অন্যান্য নক্ষত্রসমূহ হইতে বিকিরিত শক্তির উৎস হইল অনুরূপ নিউক্লীয় একীকরণ। ইহাদের অভ্যন্তরের বিভিন্ন গ্যাসের মধ্যে সর্বদাই অনুরূপ নিউক্লীয় একীকরণ চলিতেছে। ফলে ইহাদের বিকিরণজনিত তাপমাত্রা-ক্ষয় উপরোক্ত প্রক্রিয়ায় নিবারিত হইতেছে।

7.7. মহাজাগতিক রশ্মি (Cosmic rays) **:**

1900 খ্রীষ্টাব্দের প্রথমদিকে উইলসন, এলষ্টার, গাইটেল প্রমুখ বিজ্ঞানীগণ লক্ষ্য করিলেন যে একটি তড়িতাহিত ও অন্তরিত তড়িৎবীক্ষণ হইতে তড়িতাধান ধীরে ধীরে ক্ষয়প্রাপ্ত হইতেছে। 1903 খ্রীষ্টাব্দে রাদারফোর্ড ও ক্রুক তড়িৎবীক্ষনকে মোটা লোহা ও সীসা দ্বারা আবৃত রাখিয়াও দেখিলেন, তড়িৎবীক্ষণের তড়িতাধান ক্ষয়প্রাপ্ত হইতেছে, তবে পূর্বাপেক্ষা ধীর গতিতে। এইসব দেখিয়া প্রথমে বিজ্ঞানীরা মনে করিলেন যে ভিতরের বায়ুতে আয়নয়ণ প্রক্রিয়ায় তড়িৎবীক্ষণের তড়িতাধান ক্ষয়প্রাপ্ত হইতেছে। কিন্তু এই বায়ুর তড়িৎপরিবাহীতার কোন পরিবর্তন দেখিতে পাওয়া গেল না। তখন বিজ্ঞানীরা মনে করিলেন, ভূ-পৃষ্ঠে কিছু কিছু তেজস্ক্রিয় পদার্থের উপস্থিতিই এই তড়িৎক্ষরণের কারণ। ইহা প্রমাণের জন্য 1909 খ্রীষ্টাব্দে গকেল 4,500 মিটার পর্যন্ত বিভিন্ন উচ্চতায় উঠিয়া তড়িৎবীক্ষণ হইতে তড়িৎক্ষরণের হার মাপিয়া দেখিলেন যে ভূপৃষ্ঠ হইতে যত উপরে উঠা যায় তড়িৎক্ষরণের হার তত বেশী। সুতরাং ভূপৃষ্ঠস্থ তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রভাবে যে এই ঘটনা ঘটে তাহা প্রমাণিত হইল না। 1911-14 খ্রীষ্টাব্দে হেস ও কোহ্‌লস্টার আরও উপরে উঠিয়া অনুরূপ ঘটনা পর্যবেক্ষণ করিলেন। তখন

তাঁহারা মত প্রকাশ করিলেন যে, পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলেরও বাহির হইতে কোন উচ্চভেদনশীল রশ্মি পৃথিবীর উপর আসিয়া পড়িতেছে এবং ইহাই তড়িৎবীক্ষণের তড়িৎক্ষরণের কারণ। এই রশ্মির উৎসস্থল মহাজগতের কোন স্থানে—সেইজন্য ইহার নামকরণ করা হইল **মহাজাগতিক রশ্মি**।

পরবর্তীকালে এই রশ্মির সংযুতি, প্রকৃতি ও ধর্মাবলী সম্বন্ধে নানা পরীক্ষা নিরীক্ষার পর জানা গিয়াছে যে এই রশ্মির ভেদনক্ষমতা অত্যন্ত বেশী——এমনকি, এক্স রশ্মি ও গ্যামা রশ্মি অপেক্ষাও বেশী। গভীর সমুদ্রে ও খনিগর্ভেও এই রশ্মির অস্তিত্ব লক্ষ্য করা গেল। তাহাছাড়া, পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের ফলে উচ্চ চৌম্বক অক্ষাংশে (দুই মেরুর দিকে) এই রশ্মির তীব্রতা বেশী দেখা গেল। আবার পশ্চিম দিক হইতে আগত কণার সংখ্যা পূর্ব দিক হইতে আগত কণার সংখ্যা অপেক্ষা বেশী দেখা গেল। চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা এই রশ্মি বিক্ষিপ্ত হইতে দেখিয়া বিজ্ঞানীরা সিদ্ধান্ত করিলেন যে, এই রশ্মি তড়িৎগ্রস্ত কণা দ্বারা গঠিত। অধিক উচ্চতায় এই রশ্মির তীব্রতা বেশী হওয়ার কারণ নীচের দিকে বায়ুমণ্ডলে ইহার কিছুটা শোষিত হয়। বিষুব রৈখিক ও মেরুঅঞ্চলে এই রশ্মির তীব্রতার তারতম্য লক্ষ্য করিয়া দেখা গেল সাধারণভাবে এই রশ্মির শক্তি 3×10^9 হইতে 3×10^{10} ইলেকট্রন ভোল্টের (eV) মধ্যে থাকে।

এই মহাজাগতিক রশ্মির তড়িতানের প্রকৃতি সম্বন্ধে এণ্ডারসন ও নেদার মেয়ার নানা পরীক্ষা করেন। প্রমাণ পাওয়া গিয়াছে, যে মহাজাগতিক রশ্মি বাহির হইতে বায়ুমণ্ডলে প্রবেশ করে তাহা উচ্চ ভেদনসম্পন্ন ধনাত্মক তড়িৎ-যুক্ত পরমানবিক নিউক্লিয়াস (প্রোটন) দ্বারা গঠিত। ইহাদের নাম দেওয়া হইয়াছে **প্রাথমিক রশ্মি** (primary rays)। বায়ুমণ্ডলে প্রবেশ করিয়া ইহারা বায়ুমণ্ডলের কণাগুলির সহিত সংঘাত সৃষ্টি করে এবং ইহাতে বিভিন্ন রকমের কণা সৃষ্টি হয়। ইহাদের তখন বলা হয় **দ্বিতীয় পর্যায়ের কণা** (secondary particles)। এই দ্বিতীয় কণাগুলির শক্তি ও তড়িতাধানের প্রকৃতি সম্বন্ধে পরীক্ষা করিয়া জানা গিয়াছে যে ইহারাও অধিক ভেদনশক্তি সম্পন্ন এবং ইহাদের তড়িতাধান ধনাত্মক ও ঋণাত্মক দুই রকমেরই হয়। তবে ধনাত্মক রশ্মিকণার ভেদনশক্তি অপেক্ষাকৃত বেশী দেখা গেল। অপেক্ষাকৃত কম শক্তিশালী কণাগুলির তড়িতাধানও ধনাত্মক ও ঋণাত্মক উভয় প্রকারই দেখিতে পাওয়া গেল। ঋণাত্মক কণাগুলি সাধারণ ইলেকট্রন কণা কিন্তু ধনাত্মক কণাগুলি ধনাত্মক ইলেকট্রন বলিয়া প্রমাণিত হইল। ইহাদের

নতুন নামকরণ করা হইল **পজিট্রন** (positron)। বেশী শক্তিশালী কণাগুলি ইলেকট্রন ও প্রোটনের মাঝামাঝি ভরবিশিষ্ট এক নতুন কণা বলিয়া প্রমাণিত হইল। ইহাদের নামকরণ করা হইল **মেসট্রন** বা **মেসন** (Meson)। এইভাবে মহাজাগতিক রশ্মি হইতে দুইটি নতুন মূলকণা—পজিট্রন ও মেসন—আবিষ্কৃত হইল।

7.7a. মেসন (Meson) :

1937 খ্রীষ্টাব্দে নেদারমেয়ার ও অ্যাণ্ডারসন মহাজাগতিক রশ্মি লইয়া গবেষণাকালে মেসনের আবিষ্কার করেন। ইহারা অধিক ভেদনশক্তিসম্পন্ন ধনাত্মক ও ঋণাত্মক উভয় প্রকার আধানযুক্ত এবং ইলেকট্রনের ভরের প্রায় 220 গুণ ভরবিশিষ্ট কণা। ইহাদের আধান প্রায় ইলেকট্রনের আধানের সমান। তবে ইহারা অত্যন্ত স্বল্পায়ু কণা—ইহাদের অর্ধায়ু প্রায় $2 \cdot 15 \times 10^{-6}$ সেকেণ্ড। সাধারণভাবে আবার দুইরকমের মেসন পাওয়া গেল—একটির ভর $273m_e$ (m_e—ইলেকট্রনের ভর) এবং অন্যটির $207m_e$। প্রথমটির নামকরণ করা হইল **পাই-মেসন** (π-Meson) এবং দ্বিতীয়টির **মিউ-মেসন** (μ-Meson)। পাই-মেসন ক্ষয়প্রাপ্ত হইয়া মিউ-মেসনের সৃষ্টি করে। মিউ-মেসন পাই-মেসন অপেক্ষা একটু বেশীক্ষণ স্থায়ী। ইহাও ক্ষয়প্রাপ্ত হইলে ইলেকট্রন বা পজিট্রন নির্গত হয়।

পরীক্ষাগারেও আজকাল মেসন সৃষ্টি করা সম্ভবপর হইয়াছে। অধিক শক্তিশালী আলফা কণাদ্বারা হাল্কা নিউক্লিয়াসকে আঘাত করিলে দুই রকমের মেসনই সৃষ্টি হয়। ইহারা ধনাত্মক, ঋণাত্মক এমনকি, নিস্তড়িৎ ($264m_e$)-ও হইতে পারে। নিস্তড়িৎ মেসনের অর্ধায়ু খুবই কম ($\sim 10^{-15}$ সেকেণ্ড)।

উপরিবর্ণিত দুই রকমের মেসন ছাড়াও এখন আরো অনেক রকমের মেসন আবিষ্কৃত হইয়াছে। ইহাদের ভর বিভিন্ন। যেমন, বিটা (β) মেসন ($500m_e$), K-মেসন ($800m_e$), টাউ (T) মেসন ($966m_e$) প্রভৃতি।

প্রশ্নাবলী

1. তেজস্ক্রিয়তা কি? ইহার আবিষ্কার সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

[What is radioactivity? How it is discovered?]

2. তেজস্ক্রিয় বস্তু হইতে কি কি বিকিরণ নির্গত হয়? এই বিকিরণগুলির মুখ্য ধর্মাবলী উল্লেখ কর।

[What radiations are emitted from a radioactive substance? State the principal properties of these radiations.]

3. তেজস্ক্রিয় বস্তু হইতে যে তিন ধরণের বিকিরণ নির্গত হয় তাহা পরীক্ষার সাহায্যে বর্ণনা কর। ইহাদের যে কোন একটির প্রকৃতি ও ধর্মাবলী বর্ণনা কর।

[Describe an experiment to show that the radiations emitted by radioactive substances are of three distinct types. Give an account of the nature and properties of of one of these.]

4. তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াসের ভাঙনের নীতি বর্ণনা কর। তেজস্ক্রিয় পদার্থের 'অর্ধায়ু' বলিতে কি বোঝায় ?

[Describe the principle of radioactive decay. What is meant by 'half-life' of a radioactive material ?]

5. কৃত্রিম মৌলান্তর কাহাকে বলে ? প্রথম কৃত্রিম মৌলান্তর কিভাবে করা হইয়াছিল পরীক্ষার সাহায্যে বর্ণনা কর।

[What is artificial transmutation ? Describe the experiment how first artificial transmutation was effected.]

6. তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক কি ? কয়েকটি তেজস্ক্রিয় সমস্থানিকের মৌলান্তর প্রক্রিয়া সমীকরণের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

[What is radio-isotope ? Explain the mechanism of transmutation of some radioisotopes with the help of equations.]

7. ভর ও শক্তির সমতুল্যতা সূত্র কি ? ইহার সাহায্যে কিভাবে নিউক্লিয়াসের বন্ধন-শক্তির ব্যাখ্যা করা যায় ?

[What is the law of mass-energy equivalence ? How does it explain the binding energy of a nucleus ?]

8. নিউক্লিয় বিভাজন কি ? ইহার দুইটি ব্যবহারিক প্রয়োগ লেখ।

[What is nuclear fission ? State two practical applicationsof nuclear fission.]

9. নিউক্লীয় একীকরণ কি ? ইহার প্রয়োজনীয়তা কি ?

[What is nuclear fusion ? What is its importance ?]

10. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি সম্বন্ধে নোট লিখ :

(i) α, β এবং γ-রশ্মি, (ii) তেজস্ক্রিয়তা, (iii) নিউক্লিয় বিভাজন, (iv) মহাজাগতিক রশ্মি, (v) মেসন, (vi) কৃত্রিম মৌলান্তর।

[Write short notes on the followings :

(i) α, β and γ-rays, (ii) radioactivity, (iii) Nuclear fission, (iv) Cosmic rays, (v) Meson, (vi) Artificial transmutation.]

SOME PHYSICAL CONSTANTS

Normal Atmospheric Pressure	$=(1{\cdot}013249 \pm 0{\cdot}000004) \times 10^6$ dynes/cm^2.
Avogadro Number	$N_o = (6{\cdot}02283 \pm 0{\cdot}0011) \times 10^3$
Gas Constant	$R = (8{\cdot}31436 \pm 0{\cdot}00038) \times 10^7$ ergs/deg/gm-mol.
	$= (1{\cdot}986467 \pm 0\ 00021)$ cals.
Boltzmann's Constant	$k = 1{\cdot}38 \times 10^{-16}$ ergs/degree
Gravitational Constant	$G = 6{\cdot}670 \times 10^{-8}$ cm^3. gm^{-1} sec^{-2}
Mechanical Equivalent	$J = 4{\cdot}18 \times 10^7$ abs. ergs/cal
Faraday	$F = 96500$ abs. coulomb/gm. equivalent.
Velocity of light	$C = 2\ 997 \times 10^{10}$ cms/sec.
Charge of the electron	$e = 4{\cdot}8025 \times 10^{-10}$ e. s. u.
	$= 1{\cdot}602 \times 10^{-20}$ e. m. u.
Mass of the electron	$m = 9{\cdot}1 \times 10^{-28}$ gm.
No. of molecules per c. c. at N. T. P.	$= 2{\cdot}6871 \times 10^{19}$
E. C. E. of Silver	$= {\cdot}001118$ gm/Coulomb.
Volume of a perfect gas at N. T. P.	$= 22{\cdot}4$ litres/mol.

SOME MATHEMATICAL CONSTANTS

$e = 2{\cdot}7182818$	$\pi = 3{\cdot}1415927$	$\log \pi = 0{\cdot}4971499$
$\frac{1}{e} = 0{\cdot}3678794$	$\pi^2 = 9{\cdot}8696044$	$\log \pi^2 = 0{\cdot}9942997$
$\log_e 10 = 2{\cdot}3025851$	$\frac{1}{\pi} = 0{\cdot}3183099$	$\sqrt{\pi} = 1{\cdot}7724539$

1 radian $= 57^\circ{\cdot}29578$

S. I. UNITS

Mass	Kilogramme (kg)
Distance	Metre (m)
Time	Sec (s)
Density	Kg m^{-3}
Force, Thrust	Newton (N), 1Kg $\times$ 1m/s^2 Kilogramme-force (kgf) 1 Kgf = gN = ·98 N
1 atmosphere	101·3 KNm^{-2}
Work	Joule (J), 1 metre kilograme force 1 mkgf = g joules.
Temp.	^{0}K
Sp. heat	J kg^{-1}. K^{-1}
Latent heat	KJkg^{-1}.

———

100 IMPORTANT NUMERICAL PROBLEMS

MECHANICS

1. A horse pulls a cart with a force of 50 lbs. at an angle of 30° with the horizontal and moves along with a speed of 6 miles per hour. How much work does the horse do in 10 minutes? What is the power output of the horse in practical units? (Eng. Ad. Test '62)

[Ans. $132000\sqrt{3}$ ft. lbs., $\frac{2\sqrt{3}}{5}$ H. P.]

[Hint : অনুভূমিক দিকে ঘোড়া কর্তৃক প্রযুক্ত বল $= 50 \times \cos 30°$]

2. A man whose mass is 70 kilograms, walks up to the third floor of a building. This is at a vertical height of 12 metres above the street level. How many Joules of work has he done? By how much has he increased his potential energy? If he climbs the stairs in 20 secs., what was his average rate of working in horse-power? (Eng. Ad. Test '63)

[Ans. 8232 Joules, 0·55 H. P.]

3. An aeroplane weighing 50,000 lbs. climbs up to a height of 1 mile in 5 minutes. Calculate the power consumed in units of horse power. (Eng. Ad. Test '65)

[Ans. 1600 H. P.]

4 What is the potential energy of the water which fills a cubical tank of each side 10 feet and whose base is 20 feet above the ground? (Eng. Ad. Test '55)

[Ans. 1562500 ft. lbs.]

[Hint : স্থিতিশক্তি = জলের ওজন × ভারকেন্দ্রের উচ্চতা $(20' + 5' = 25')$]

5. A jet of water is forced vertically upwards at the rate of 200 c. c. per second with a velocity of 196 cm/sec. Determine the mass of a disc that can be supported by this jet at a height of 16 cm. from its mouth. (Eng. Ad. Test '68)

[Ans. 245 gms.]

[Hint :—জলের গতিশক্তি, $\frac{1}{2}mv^2$ = চাকতির স্থিতিশক্তি, Mgh]

6. A shot travelling at a rate of 200 metres per second is just able to pierce a plank 4 cm. thick. Assuming that the resistance offered by the plank is uniform, calculate what velocity of the shot is required to pierce a plank 12 cm. thick. (Eng. Ad. Test '67) [Ans. 346 metres/sec]

7. A rail wagon has its C. G. at a height of 3 ft. above the rails, which are 4 ft. apart. What would be the safe maximum speed at which it could travel round an unbalanced curve of radius 108 ft. ? (G. U.)

[Hint : অপকেন্দ্র বলের ভ্রামক $=\frac{mv^2}{r}\times$ ভারকেন্দ্রের উচ্চতা

$=\frac{3mv^2}{r}$ (দক্ষিণাবর্তী)

ভারের ভ্রামক $=mg\times$ লাইনদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্বের অর্ধ $=2mg$ (বামাবর্তী)

সর্বাধিক নিরাপদ ক্ষেত্রে, $2mg=\frac{3mv^2}{r}$

$\therefore\ v^2=\frac{2gr}{3}=\frac{2\times32\times108}{3}$

$\therefore\ v=48$ ft/sec.]

GENERAL PROPERTIES OF MATTER

8. Find the minimum velocity of projection for a body to escape from the earth's gravitational field if the acceleration due to earth's gravity $g=980$ cm/sec^2. and the radius of the earth $r=6{\cdot}4\times10^8$ cm. (neglect air resistance). (C. U. '67) [Ans. 11·2 km/sec.]

[Hint : $v=\sqrt{2gr}$]

9. Calculate the length of a 'day' if the rate of rotation of the earth on the axis, were such that a person feels weightless at the equator. Radius of the earth=6400 km, $g=980$ cm/sec^2. (C. U. '64)

[Hint : ভারশূন্যবোধ অবস্থায় $\frac{v^2}{r}=g$. $v=\sqrt{gr}=79{\cdot}2\times10^4$ cm/sec.

1 দিনে একটি পূর্ণ আবর্তন হয়, সুতরাং দিনের দৈর্ঘ্য, $t=\frac{2\pi r}{v}$

$=1{\cdot}409$ hours]

10. The cylinders of hydraulic press have radii 1·5 cm. and 15 cm. respectively. The piston is attached to a handle 1 metre long at a point 10 cm. from the pivot which is at one end. Find out the force that must be applied to the end of the handle for the press to exert a force of 100 kgm. weight. (E. A. T. '67) [Ans. 1kgm. wt,]

11. What fraction of the volume of a piece of quartz will be submerged when floating in a container of mercury ?

Given, sp. gravity of quartz=2·65, of mercury=13·6. (J. Entrance '72) [Ans. $\frac{1}{6}$ th]

12. The mass of a litre af milk is 1032 gm. It contains butterfat 4 percent by volume. Butterfat has a specific gravity of 0·865. Calculate the density of "fat free" skimmed milk. (J. Entrance '73) [Ans. 1·04]

13. A body of specific gravity 6·8 is held under mercury of specific gravity 13·5 at a depth of 1960 cm. It is suddenly released. Calculate the time taken by the body to reach the free surface. Neglect viscous drag. (E.A.T. '68 [Ans. 2 sec.]

[Hint. লব্ধি ঊর্ধ্বঘাত=অপসারিত পারদের ওজন—বস্তুর ওজন= V. g. (13·6 − 6·8)]

14. A hollow sphere of brass just floats almost completely submerged in water. If its outer diameter is 2 ft. and the specific gravity of brass 8, find the inner diameter and the weight of the sphere. (E. A. T. '62) [Ans. 1.9 ft, 261·9 lbs.]

15. A cubical block of steel (density=7·8 gm/c. c.) floats on mercury (density=13·6 gm./c. c). What fraction of the block is above the mercury surface? If water is poured on the mercury surface, so that water surface just rises to the top of the steel block, find the fraction of the block now under mercury. (E. A. T. '63) [Ans. ·427, ·54]

16. A solid metal cube of specific gravity 8 is suspended by means of a thread from a spring balance so as to be completely immersed in water. If the reading of the spring balance be 875 gms., calculate the mass and size of the cube. What will be the reading of the spring balance when the cube is suspended so as to be completely immersed in kerosine of specific gravity 0·8? (E.A.T.'54) [Ans. 1000 gms, 5 cm. cube, 900 gms.]

17. A lump of an alloy is known to contain only silver and gold. It weighs 25 gms. in air and 23 gms. in water. Calculate the weight of each metal in the alloy, given that the densities of silver and gold are 10·8 gm/c. c. and 19·3 gm/c. c. respectively. (E. A. T. '65) [Ans. Gold 7. 7 gms. and silver 17.3 gms.]

18. Fourteen carat gold is an alloy of 10 parts by weight of copper and 10 parts by weight of pure gold. Calculate the volume of a 10 gm. piece of 14 carat gold, given that the specific gravity of gold and copper are 19·3 and 9 respectively (E. A. T. '67) [Ans. 0.76 c. c]

19. A man and a stone are floating on a raft in swimming pool 10 metres long and 5 metres wide. The stone weighs 40 kg. and has a specific gravity 3·0. If the man drops the stone off from the raft into the pool, by how much will the water level of the pool rise or fall ? (E. A. T. '73) [Ans. Fall by ·053 cm.]

20. A steel wire having its length 225 cm. and diameter 0·95 mm. is pulled by a weight 9 kg. at its end and at this it increase in length by 1.4 mm. Find the Young's modulus of steel. ($g=980$ cm./(sec^2) (H. S. 73) [Ans. $20{\cdot}42 \times 10^{11}$ dynes/cm^2]

HEAT

21. A thermometer reads—1°, when placed in ice and 98° when placed over boiling water under normal pressure. What is the correct temperature in degree centigrade when this thermometer reads 32°. (E. A. T. '63) [Ans. 33·3°C]

22. At what temperature the reading of a Farenheit thermometer will be doubled to that of a centigrade thermometr ? (H. S. '72) [Ans. 160°C or 320° F]

23. A glass rod which weighs 90 gms. in air is found to weigh 49·6 gm. in a certain liquid at 12°C. At 97°C, its apparent weight in the same liquid is 51·9 gms. Find the co-efficient of absolute expansion of the liquid. (Given co-efficient of cubical expansion of glass=·000024). (E. A. T. '67) [Ans. 7.7×10^{-4}/°C]

[Hint. 12°C তাপমাত্রায় কাচখণ্ডের আয়তন V_1 এবং তরলের ঘনত্ব D_1 হইলে, $V_1 = \frac{90-49{\cdot}6}{D_1}$; আবার 97°C তাপমাত্রায় কাচখণ্ডের আয়তন V_2 এবং তরলের ঘনত্ব D_2 হইলে, $V_2 = \frac{90-51{\cdot}9}{D_2}$;

এখন, $V_2 = V_1\{1+{\cdot}24\times10^{-4}\times85\}$ এবং $D_1 = D_2\{1+\gamma\times85\}$].

24. A steel rim of diameter 30 inches is to be fitted on to a wheel of diameter 30·1 inches. It will slip over the wheel when its diameter becomes 8 thousandth of an inch larger than the wheel diameter. If the co-efficient of linear expansion of steel is 12×10^{-6}/°C, find out the temperature, through which the rim must be heated. (E. A. T.'64) [Ans. 280·5°C]

[Hint. উত্তপ্ত হইবার পর বেড়ের ব্যাস (30·1+1/8000) ইঞ্চি হইবে]

25. The length of a steel span of a bridge is 0·5 kilometre and it has to withstand temperature from 44°F to

116°F. What allowance should be kept for expansion if the co-efficient of liner expansion of steel is 10^{-5} per degree centigrade ? (E. A. T. '62) [Ans. 20 cms]

26. Calculate the volume of mercury that must be placed in a glass flask of 1 litre, so that the volume of the flask not occupied by mercury, may be the same at all temperatures (co-effi. of linear expansion of glass=0 000009, co-effi, of cubical expansion of mercury=0·00018) (E. A. T. '68) [Ans. 150 c. c.]

27. When 2 gms. of steam at 100°C bubbled into 56 gms of water at 10°C in a copper calorimeter weighing 45 gms. (specific heat 0·1), the temperature of the mixture becomes 30°C. Calculate the value of the latent heat of vaporisation of water. (E. A. T. '66) [Ans. 535 cals.]

28. If 90 gms. of mercury at 100°C is mixed with 100 gms. of water at 20°C and the resulting temperature be 22°C what is the specific heat of mercury ? (E. A. T. '64) [Ans. ·028]

29. One steel metre-bar is of correct length at 0°C and another is of correct length at 25°C. What is the difference between their lengths at 20°C ? (Take α for steel as 10^{-5} per °C) (E. A. T. '63) [Ans. ·025 cm.]

30. A flask containing dry air is corked up at 20°C, the the pressure being 1 atmosphere. Calculate the temperature at which the cork will be blown out if this occurs when the pressure inside the flask is 1·7 atmospheres. (E. A. T. '65) [Ans. 225 1°C]

31. A motor car tyre has a volume of 15 litres and contains air at 2·5 times the atmospheric pressure at temperature 17°C. Calculate the pressure inside the tyre in lbs/inch², when the temperature rises to 37°C and the volume of the tyre increases to 15·5 litres. Given, atmosp-pressure=14·5 lbs/inch². [E. A. T. '62] [Ans. 37·5 lbs/inch²]

32. A litre of helium under a pressure of 2 atmosphere and at a temperature of 27°C is heated untill both the pressure and volume are doubled. What is the final temperature ? (E. A. T. '63) [Ans. 927°C]

33. An air bubble of volume 14 c.c. rises from the bottom of a river 34 metres deep, where the temperature is 7°C, to the surface, where the temperature is 27°C and pressure 75 cms. of Hg. Calculate the volume of the bubble, when it comes to the surface given that the density of Hg. is 13·6 gm/c.c. (E. A. T. '64) [Ans. 65 c.c.]

34. If all the heat is converted to mechanical energy, how long could a 2000 h. p. motor must be worked on the

heat energy liberated by one cubic mile of ocean water, when the temperature of the water is lowered by 1°C ? Given, specific gravity of salt water=1·1. (E. A. T. '63)

[Ans. $35·7 \times 10^6$ hours]

35. If the average velocity of rain drop is 20 metre/sec., find out the rise of temperature of such drops striking the ground on the assumption that half of the heat generated is lost to ground. (E. A. T. '67) [Ans. ·023°C]

36. In a day, when the air temperature was 20°C, the hygrometer condensation point was 5°C. Calculate the relative humidity, if the pressures of saturated water vapour at 5°C and 20°C are 6·5 mm. and 17·4 mm. respectively. [E. A. T. '68] [Ans. 37·3%]

37. On a certain day, the dew point was found to be 12°C, when the temperature of the air was 16°C. Calculate the relative humidity of the air, given that the saturation vapour pressure at 12°C and 16°C are 10·51 mm. and 13·62 mm. of mercury respectively. (P. U. '62) [Ans. 77 per cent]

38. The top of a steam chamber is formed of stone slab 60 cm. long, 5 cm broad and 1 cm. thick. Ice is placed upon the slab and it is found that 5 kgm of ice is melted in half an hour. Assuming that there is no loss or gain of heat from the ice salb to or from the atmosphere, calculate the thermal conductivity of the stone. (J. Entrance, '72)

[Ans. ·0074 c. g. s. units]

39. Estimate the rate at which ice at 0°C will melt in a wooden box 2 cm. thick and having dimensions 100 cms. × 60 cms. × 60 cms., if the temperature outside is 30°C and conductivity of wood is 0·0004 cal. per cm. per sec. per degree C. (J. Entrance, '73) [Ans. 2·34 gm/sec.]

OPTICS

40. Rays of light strikes a horizontal plane mirror at an angle of 45°. Show how would you arrange a second mirror in order that the reflected ray may finally be reflected from the second mirror horizontally. (E. A. T. '64)

[Ans. $\theta=67·5$]

[Hint : রশ্মির মোট চ্যুতি$=180°+45°=225°=2\pi-2\theta$]

41. An object is at a distance of 10 cms. from a mirror and the image of the object is at a distance of 30 cms. from the mirror on the same side as the object. Is the mirror concave or convex ? What is the focal length ? (E. A. T. '64) [Ans. Concave, 7·5 cms.]

42. Light strikes a glass plate at an angle of incidence of 60°, part of the beam being reflected and part refracted. It is observed that the reflected and refracted portions make an angle of 90° with each other. What is the index of refraction of the glass ? (E. A. T. '63) [Ans. $\sqrt{3}$]

43. The critical angle of incidence in a glass slab immersed in air is 30°. What will be the critical angle when it is immersed in a medium of refractive index $\sqrt{2}$? (E.A. T. '63) [Ans. 45°]

44. A ray of light is passing through a prism of refractive index $\sqrt{3}$ in such a manner that the angle of incidence is twice the angle of emergence and the latter is equal to the angle of the prism. Find the angle of the prism. (E. A. T. '65) [Ans. 60°]

45. Light enters a prism of angle A at grazing incidence to emerge at an angle θ with the normal. Show that the refractive index of the material of the prism is

$\mu = \left[1+\left(\frac{\cos A+\sin \theta}{\sin A}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$ (E. A. T. '66)

[Hint : $i_1=90°$ বলিয়া, $r_1=\theta_c$, সংকোট কোণ,

কাজেই, $A=\theta_c+r_2$ বা, $r_2=A-\theta_c$

$$\mu=\frac{\sin \theta}{\sin r_2} \quad \therefore \quad \sin \theta=\mu.\sin r_2=\mu \sin (A-\theta_c)$$

$$=\mu \sin A \cos \theta_c-\mu \cos A \sin \theta_c$$

এখন, $\sin \theta_c=\frac{1}{\mu}$ এবং $\cos \theta_c=\sqrt{1-\frac{1}{\mu^2}}=\frac{1}{\mu}\sqrt{\mu^2-1}$

$$\therefore \sin \theta=\mu \sin A.\frac{1}{\mu}\sqrt{\mu^2-1}-\mu \cos A\frac{1}{\mu}$$

$$=\sin A\sqrt{\mu^2-1}-\cos A$$

$$\therefore (\sin \theta+\cos A)^2=\sin^2 A(\mu^2-1)$$]

46. Find the minimum deviation produced by a prism of refractive index $\sqrt{\frac{3}{2}}$ and refracting angle 90°. What is the corresponding angle of incidence ? Also, show that if the angle of incidence is less than 45°, there is no emergent ray.

Find the maximum r. i. of a prism which permits the passage of light through it. when the refracting angle is 90°. (E. A. T. '68) [Ans. $\delta m=30°$, $i_1=60°$, $\sqrt{2}$]

[Hint : Last part : এই ক্ষেত্রে প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ A, সংকট কোণ θ_c-র দ্বিগুণের বেশী হইতে পারে না। অর্থাৎ, $A\leqslant 2\theta_c$, $\therefore \theta_c\geqslant 45°$.

$\mu = \frac{1}{\text{Sin } \theta_c}$ হইতে, $\text{Sin } \theta_c \geqslant \text{Sin } 45° \geqslant \sqrt{\frac{1}{2}}$,

কাজেই, $\mu = \frac{1}{\text{Sin } \theta_c} \leqslant \sqrt{2}$]

47. An object 4 cm. long is fixed on the principal axis and 40 cms. from a thin convex lens of focal length 30 cms. Calculate the position, nature and size of the image. (E. A. T. '63) [Ans. real and erect, magnification=3, v = +120 cms.]

48. A convex lens placed 6 cms. from an object produces real image five times the size of the object. Where must the lens be placed to produce a virtual image three times the size of the object ? (E. A. T. '66) [Ans. 3.33 cms. from the lens.]

49. A convex lens of focal length f cm. produces real images of magnification m_1 and m_2, when the object is placed at points x cm. apart on the axis of the lens.

Prove that, $x = f\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_2}\right)$ [E. A. T. '68]

If the magnification changes from 3 to 4, when the object is shifted through 2 cm. what is the focal length of the lens ? [Ans. 24 cms.]

50, An object placed 5 cm. away from the focus of a thin convex lens produces a three times magnified image. Calculate its focal length. Find the position and magnification of the image when the object is placed 5 cm. inside the focus. (E. A. T. '67)
[Ans. f=15 cms, v = +30 cms, m=3]

51. A convex lens of focal length 30 cms. is placed 20 cms. away from a concave lens of focal length 5 cms. An object is placed to 6 metres distant from the convex lens (which is nearer to it) and on the common axis of the system. Determine the position, magnification and size of the image formed. (J. Entrance, '71) [Ans. image is formed at a distance of 8.8 cms. from the concave lens towards the convex lens, $m = \frac{10}{247}$]

52. Two concave lenses of focal length 20 cms. are situated 10 cms. apart and have a common axis. An object 5 cms. in height is placed on the axis at a distance of 15 cms. in front of the first lens. Find the size and position of the final image. (E. A. T. '69) [Ans. 9.63 cms. from the second lens towards the first lens, $m = \frac{8}{27}$, height=1·5 cms.]

VIBRATION AND WAVES

53. A man sets his watch by the noon-whistle of a factory at a distance of 1 mile. By how many seconds will his watch be in error compared to the factory clock? Given, velocity of sound in air=332 meters/sec. (E.A.T. '65)

[Ans. slow by 4.8 sec.]

54. A steamer approaching a cliff whistles and the echo is heard after an interval of 6 seconds. Three minutes later, the whistle is blown again and the echo is heard after 4 seconds. How fast is the steamer going? Given, velocity of sound in air=1120 ft./sec. (E. A. T. '67)

[Ans. 6.26 ft/sec.]

55. Determine the frequency and wave length of a tone, produced by a siren having a disc with 30 holes and making 550 revolutions per minute, velocity of sound in air being 330 metres/sec. (E. A. T. '68) [Ans. 275, 120 cms.]

56. Find the fundamental frequency and the first three overtones in the air of a 6 inch pipe if (a) the pipe is open at both ends and (b) the pipe is closed at one end. Velocity of sound in air=1140 ft/sec. (E A T. '63)

[Ans. (a) 2280, 3420, 4560, (b) 1710, 2850, 3990.]

57. A tuning fork resonates when sounded over a narrow tube of length 10 inches closed at one end. If the velocity of sound waves is 1120 ft/sec., what is the fiequency of the fork? The same fork is found to be in unison with a length of 25 cm. of a sonometer wire stretched by a weight W kg. If one metre of the wire weighs 2 gms. calculate W. (E. A. T. '64)

[Ans. 336, 5.76 kgm.]

58. Calculate the velocity at which a source of frequency 10 thousand per sec. should approach the observer at rest in order to produce a Doppler shift of 200 per second? (C. U. '54) Velocity of sound=1020 ft./sec.

[Ans. 20 ft/sec.]

59. What must be the ratio of the diameters of two wires, one of steel and the other of copper, of equal lengths, so that when stretched with same tension, they may emit the same frequency? (Density of Steel=7.7 gm/cm^3. and of copper=8.9 gm/cm^3) [E.A.T. '68] Ans. $\sqrt{\frac{89}{77}}$

60. A brass wire of length 1 metre and diameter 1 mm. emits fundamental note of 70 vibrations per second when stretched by a weight of 12.56 kgm. Calculate the density of brass. (E. A. T. '62) [Ans. 8 gms/c.c.]

61. A stretched wire under tension of 1 kgm wt is in unison with a fork of frequency 320 What alteration in tension would make the wire vibrate in unison with a fork of frequency 256 ? (E. A. T. '66) [Ans. Tension to be decreased by ·36 kgm-wt]

MAGNETISM

62. Two magnetic poles, one of which is 5 times as strong as the other, exert on each other a force equal to the weight of 800 mgm when placed 10 cm apart. Find the strength of each pole. (E. A T. '65) [Ans. 125·5 units, 627.5 units]

63. Two exactly similar poles are placed at a distance of 8 cm. apart and the force between them is 9 dynes. Calculate the force when they are 4 cm. apart. (E A.T. '68)
[Ans. 36 dynes.]

64 A magnet 8 cm. in length lies in a magnetic field of intensity 0·18 units and the strength of each pole is 5. Find the moment of the couple required to deflect it 30° away from the field direction. (E. A. T. '69) [Ans. 3.6 units]

[Hint : দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= 2ml.\ H \sin \theta$, $H = 0·18$ units.]

65. At a certain location the horizontal component is 0.2 Oersted and the dip is 60°." Determine the intensity of the magnetic field. (E. A. T. '66) [Ans. 0.4 Oersted.]

[Hint : $H = I \cos \theta$, $I =$ চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য।]

66. Calculate the moment of the couple required to deflect a 10 cm. long magnet of pole strength 5 units at right angles to a field of 0·14 gauss. (E. A. T. '67)
[Ans. 7 units]

67. If the dip at a certain place is 30° and the horizontal component 0·3 gauss, calculate the value of the vertical component. (E. A. T. '64) [Ans. 0·173 gauss.]

[Hint : অনুভূমিক ও উল্লম্ব অংশ H এবং V হইলে $\frac{V}{H} = \tan \theta$]

68. The angle of dip at Calcutta is 30°. Find the total intensity and vertical intensity of earth's magnetic field at Calcutta. (J. Entrance, '73) [0·21 units]

69. A magnet whose poles are 10 cms. apart is placed in the magnetic meridian. The field due to the magnet counterbalances earth's horizontal field (0·36 c. g. s. units) at a point 9 cms. away from each pole. Calculate the pole strength of the magnet. (J. Entrance, '72) [Ans. 75·3 units]

ELECTROSTATICS

70. Two point charges of magnitude +4 and −9 are placed 10 cms. apart. Find out the points on the straight line joining them, where the force experienced by a unit positive charge will be (i) equal and opposite and (ii) equal and in the same direction. (E. A. T. '63)

[Ans. (i) At a distance of 4 cms. from +4, towards +9, (ii) at a distance of 20 cms. from +4, away from +9]

71. What must be the distance between two electrons in order that, the force of repulsion between them may be equal to 20 times the weight of other ? Given, charge of an electron$=4{\cdot}8\times10^{-10}$ e. s. u. ; mass of an electron$=9\times10^{-28}$ gm. g = 980 cm/sce^2. (E. A. T.'64) [Ans. 114·2 cms.]

72. Find the work done when a charge of −10 units is removed from any point A at a distance of 10 cms. to another point B, at a distance of 20 cms. from a charge of 80 units. (E. A. T.'65) [Ans. 40 units.]

[Hint : $V_A=\frac{80}{10}=8$ units, $V_B=\frac{80}{20}=4$ units

সম্পাদিত কার্য$=(V_a-V_b)\times10$]

73. Two charges +q and −9q are fixed at a distance of 10 cms. Where should we place a unit positive charge in line with these charges, so that it does not experience any force ? (E A. T. '67) [Ans. at a distance of 5 cms. from +q, away from −9q.]

74. A particle of charge $4{\cdot}8\times10^{-10}$ units is fixed and another particle of equal and opposite charge is placed at a certain distance below it. If the mass of the second particle be $1{\cdot}69\times10^{-24}$ gm., what should be the distance between the two, so as to keep it in equilibrium ? (E, A. T. '68)

[Ans. 13·2 cms.]

75. Two equally charged pith balls each of mass 2 gms. are suspended from the same point by silk threads of 30 cms. length. The angle between the threads is 60°. Calculate the charge on each pith ball. (J. Entrancs. '72) [Ans. 1008 units]

76. Three charges lie on a horizontal plane in vacuum ; q_1 is +8 e. s. u., q_2 is +12.5 e. s. u. and lies 5 cms. north of q_1 ; and q_3 lies 8 cms, due east of q_1 and has a magnitude of −24 e. s. u. Compute the magnitude and direction of the force on q_1. (E A. T. '66) [Ans. 5 dynes, makes an angle $\theta=\tan^{-1}\frac{4}{3}$ with east.]

77. Four small spheres, carrying charges of +5, +10, +5 and −5 units are placed at the points A, B, C, and D respectively of a square ABCD of 10 cms. side. Calculate the resultant field intensity at the intersection of the diagonals. (J. Entrance, '69) [Ans. 0·3 units along BOD.]

78. A sphere of radius 10 cms. is charged with 10 e.s.u. of electricity. Calculate the work done in giving to it an additional charge of 4 units of electricity. (J. Entrance, '71) [4 units]

79. A condenser A has a capacity of 10 and potential 50 ; another condenser B has a capacity 6 and potential 65. Calculate the charge on each condenser after they have been connected by a very thin long conducting wire. (J. Entrance, '70) [Ans A : 556·25 and B : 333·76]

[Hint : A-এর তড়িতাধান $Q_1=10\times 50=500$

B " " $Q_2=6\times 65=390$

∴ মোট তড়িতাধান $Q=500+390=890$

মোট ধারকত্ব $=10+6=16$

∴ উহাদের সাধারণ বিভব $=\frac{890}{16}$

∴ A-র বর্তমান আধান $=\frac{890}{16}\times 10=556{\cdot}25$

B-র " " $=\frac{890}{16}\times 6=333.75$]

CURRENT ELECTRICITY

80. Two resistances A and B are in parallel with each other and in series with 200Ω resistance and a cell of 1·5 volts with negligible internal resistance. The resistance of A is 100Ω. When B is disconnected from the circuit and an additional resistance of 50Ω is inserted in series, the current through A remains unchanged. Find the resistance of B. (E. A. T. '63) [Ans. 400Ω]

81. Each of five cells in a battery has e. m. f. 2 volts and internal resistance 0·6 Ω. What current will the battery supply to an external resistance of 17 Ω, when the cells are connected (a) in series, and (b) in parallel ? What will be p.d. across the resistance in each case ? (E. A. T. '64) [Ans. (a) 0·5 amp, 8.5 volts : (b) 0·116 amp, 1·972 volts.]

[Hint : কোষগুলি শ্রেণী সমবায়ে সজ্জিত হইলে, ব্যাটারীর মোট বিভব পার্থক্য=2×5=10 volts এবং সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত হইলে ব্যাটারীর মোট বিভব-পার্থক্য=যে কোন একটি কোষের বিভব-পার্থক্য=2 volts.]

82. A galvanometer of resistance 50 ohms is shunted by a resistance of 5 ohms. Find the value of the compensating resistance, which must be put in the circuit, so that current in the main circuit is 11 milliampere. What are the p.d. across the galvanometer terminals with or with-

out shunt ? (E. A. T. '65.) [Ans. 45·46Ω, without shunt, V = 0·55 volts ; with shunt, V = ·05 volts.]

83. Two coils have an equivalent resistance of 12Ω, when connected in series and $\frac{5}{3}$ Ω, when in parallel. What are the resistances of the coils ? (J. Entrance '72) [Ans. 10Ω. 2Ω.]

84. One kilogram of copper is drawn into a wire (a) 1 m.m. in diameter, (b) 2 m m. in diameter. Compare their resistances at the same temperature. (H. S. '60) [Ans. 16 : 1]

85. Two identical cells connected in series drive a current of 0 25 amp. through an external resistance of 8 ohms. When the cells are connected in parallel, the current through the same resistance is 0·16 amp. Calculate the e. m. f. and the internal resistance of the cell. (H. S. '66) [Ans. 1·408 volts, 1·6 ohm.]

86. The ends of a uniform wire, one metre long, are connected to the terminals of a battery (e. m. f = 2·1 volts, internal resistance = 1·5 ohm). Find in millivolts, the fall of potential per unit length of the wire if the resistance of the wire be 2 ohms. (H. S. '61) [Ans. 12 mv/cms.]

87. Find the heat, in calories, generated in two minutes in a heater coil when the supply voltage is 200 volts and the current passing through the heater coil is 8.4 amperes. (J. Entrance '70) [Ans. 4.8×10^4 cals.]

88. A wire carrying a current of 0·5 amperes is immersed in an ice calorimeter and melts 1 gm. of ice per minute. Find its resistance in ohms. Latent heat of fusion of ice = 80 cals./gm. (E. A. T. '62) [Ans. 22.2 ohms.]

89. Two wires contain the mass of metal of the same kind, but one wire is twice long as the other. Compare their rates of production of heat (i) at the same voltage, and (ii) carrying the same current. (E. A. T. '63)

[Ans. (i) 4 : 1, (ii) 1 : 4]

90. Calculate the time required to boil a litre of water, which is at 25.4°C, the available energy being at the rate of 1 H. P. What is the resistance of the electric heater which supplies energy at this rate from a 220 volt electric supply line ? (E. A. T. '65) [Ans. 7 mins, 64.8Ω]

91. A constant current of 1 ampere flows in platinum wire of resistance 5 ohms stretched along the axis of a cylindrical glass tube through which a steady stream of water passes at the rate of 15 c.c. per minute. The steady difference between the temperature of the water entering and leaving is 4·8°C Neglecting loss of heat, calculate the value of J. (E. A. T. '66) [Ans. 4.16 joules/cal.]

92. Two resistances 3 Ω and 5 Ω are connected in parallel. Find the value of the third resistance which will have to be connected with them in order that the total power consumed from a source of e. m. f. 12 volts be 36 watts. Show how the resistance is to be connected. [E. A. T. '62] [Ans. series resistance 2.12 Ω.]

93. A small electric motor is rated $\frac{1}{8}$ H. P. and is run at 220 volts supply. How much current will it draw from the supply mains when working at full capacity? What will be the cost of running it for 80 hours at 15 P. per B. O. T. unit? (E A. T. 64) [Ans. 0.42 amp., 75 P.]

94. A current which deposits 0·85 gm. of copper in 25 mins. passes through a 2 ohm resistance. A voltmeter gives the potential difference across the resistance as 3·5 volts. What is the error in voltmeter? E. C. E. of copper$=3·29\times10^{-4}$ gm./coulomb [E. A. T. '63]

[Ans. Voltmeter reads an excess of ·06 volt]

95. A metal plate of total surface area 300 sq. cm. is to be nickel-plated. If a current of 1.5 amperes is used for 3 hours, find the thickness of the nickel deposited on the plate. Density of nickel=8·8 gm./c. c. E. C E. of nickel=0.000304 gm./coulomb. (E.A.T. '65) [Ans. .0189 m.m.]

96. A 100 volt battery has an internal resistance of 5 ohms. What is the reading of a voltmeter having a resistance of 500 ohms when placed across the terminals of a battery? What should be the minimum value of the voltmeter resistance so that the error in reading the e. m. f. of the battery does not exceed 5 per cent? (E. A. T '66)

[Ans. 99·01 volts, 95 ohms.]

97. A tangent galvanometer of resistance 10 ohms shows a deflection of 60° when inserted in a circuit of which the total resistance including that of the galvanometer is 100 ohms. What shunt must be used in order that the deflection be reduced to 30°. (E A. T. '67)

[Ans. 4 5 ohms.]

98. A current of 10 amperes produces a deflection of 45° in a tangent galvanometer. What is the value of the current which will produce a deflection of 30° in the same galvanometer? (J. Entrance, '70) [Ans. 5.8 amp.]

99 A spoon having an area of 20 sq. m m. is to be coated with silver to a thickness of 0.01 mm. If a current of 1.15 amp is used, calculate the time for which it must flow. E. C. E. of silver is 0.001118 gm./Coulomb and density of silver is 10.5 gm./c. c. (E. A. T. '66) [Ans. 12.5 secs]

100. A copper wire of diameter $\frac{2\pi}{\sqrt{3}}$ mm., is carrying a current of 1 amp. Calculate the number of free electrons, which flow past any particular cross-section of the wire per sec. Also find the average speed, with which free electrons are flowing in the copper wire assuming that there is one free electron per atom of copper. Given, charge of the electron $= 1.6 \times 10^{-19}$ Coulomb, number of atoms in 1 c. c. of solid copper $=9 \times 10^{22}$ (J. Entrance '73)

[Ans. 6.25×10^{18}, .0625 cm./sec.]

[Hint : ne=1, $\therefore$ $n=\frac{1}{1.6 \times 10^{-19}}=6.25 \times 10^{18}$ per sec.

$$v=\frac{i}{n\,A\,e}=\frac{1}{9 \times 10^{22} \times \pi r^2 \times 1.6 \times 10^{-19}}=.0625 \text{ cm./sec.}]$$